

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA KONSTRUKCÍ

**Střešní konstrukce sportovní haly ze dřeva a materiálů
na jeho bázi**

The roof structure of the sport hall of wood and wood based materials

Student:

Bc. Daniel Wawrziczek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Wawrziczek**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb
Téma: **Střešní konstrukce sportovní haly ze dřeva a materiálů na jeho bázi**
The roof structure of the sport hall of wood and wood based materials
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) konstrukční systémy zastřešení sportovních hal;
- 2) stanovení zatížení a vnitřních sil navrhované konstrukce;
- 2) návrh a statický posudek zastřešení sportovní haly;
- 3) výkresová dokumentace.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí;
- 2) ČSN EN 1995-1-1, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;
- 3) ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;
- 4) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle Eurokódů 5, Step 2 navrhování detailů a nosných systémů.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.**

Datum zadání: 27.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015




prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny na informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Kristýně Vavrušové, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, trpělivý a vstřícný přístup a cenné rady. Také děkuji mé rodině za podporu při studiu a jejich trpělivost.

Anotace

Obsahem diplomové práce je návrh zastřešení sportovní haly z hlediska dispozice objektu a statického návrhu nosných prvků. Úvodní část práce stručně popisuje konstrukční systémy halových objektů. Hlavní část práce je zaměřena na návrh konstrukčních variant zastřešení a statický výpočet. Jsou navrženy dvě konstrukční varianty zastřešení. Statický výpočet a posouzení je provedeno pro všechny nosné prvky, včetně spojů a střešních ztužidel. Všechny navržené nosné prvky a spoje obou variant zastřešení splňují podmínky pro mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Jednotlivá posouzení jsou provedena v souladu s platnými normami ČSN EN. Práce obsahuje také návrh způsobu přepravy a montáže jednotlivých nosných prvků. Nedílnou součástí práce je také výkresová dokumentace.

Klíčová slova:

Sportovní hala, dřevěná, konstrukce, zastřešení, konstrukční řešení, lepené lamelové dřevo, rostlé dřevo, dvojklobový oblouk, trojklobový oblouk, statický návrh, zatížení, únosnost, použitelnost, spoje

Abstract

The thesis contains a design for the sports hall roofing in terms of layout of the building and static design of structural elements. The introductory part briefly describes structural systems of hall buildings. The main part of the thesis is focused on the design of structural variants of roofing and structural analysis. There are designed two structural variants of roofing. Structural analysis and assessment is performed for all support elements, including joints and bracing. All designed supporting elements and joints of each variants of roofing fulfill the ultimate limit states and serviceability. Particular assessments are made in accordance with applicable standards ČSN EN. The thesis also contains draft mode of transport and assembly of particular structural elements. An integral part of the work is also a drawing documentation.

Keywords:

Sports hall, wood, construction, roofing, structural design, glued laminated timber, solid wood, three hinged arch, two hinged arch, static design, load bearing capacity, serviceability, joints

Obsah diplomové práce:

1. ÚVOD.....	12
2. KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍCH HAL	13
2.1 Základní rozdělení.....	13
2.2 Statické působení rovinných nosných konstrukcí	14
2.2.1 Ohýbané konstrukční systémy	14
2.2.2 Tlačené konstrukční systémy	16
2.2.3 Tažené konstrukční systémy	17
2.3 Prostorová tuhost halových objektů	20
3. UMÍSTĚNÍ A DISPOZICE SPORTOVNÍ HALY	21
4. VSTUPNÍ ÚDAJE PRO STATICKÝ VÝPOČET.....	24
4.1 Materiálové charakteristiky	24
4.2 Zatížení.....	25
4.2.1 Vlastní tíha	25
4.2.2 Užité zatížení	26
4.2.3 Proměnná zatížení.....	26
5. STATICKÝ NÁVRH A POSOUZENÍ NOSNÝCH PRVKŮ	29
5.1 Popis konstrukce	29
5.2 Výpočet zatížení.....	30
5.2.1 Stálé zatížení	31
5.2.2 Užité zatížení	31
5.2.3 Proměnná zatížení.....	31
5.3 Kombinace zatěžovacích stavů	39
5.4 Dvojklobový oblouk - vnitřní síly	40
5.5 Trojklobový oblouk - vnitřní síly	41
5.6 Deformační zatížení a vliv na vnitřní síly	42
5.7 Návrh hlavních nosných prvků varianty A	44
5.7.1 Vaznice	44
5.7.2 Hlavní vazník.....	51
5.7.3 Paždík.....	65
5.7.4 Sloupek	73
5.8 Návrh hlavních nosných prvků varianty B.....	79
5.8.1 Hlavní vazník.....	79

5.8.2	Sloupek	93
5.9	Návrh a posudek ztužení a spojů varianty A.....	99
5.9.1	Návrh příčných střešních ztužidel.....	99
5.9.2	Připojení táhla na vazník.....	101
5.9.3	Připojení vaznice na vazník	108
5.9.4	Připojení paždíku ke sloupku.....	118
5.9.5	Uložení vazníku na ŽB patku	122
5.9.6	Montážní spoje vazníku	137
5.9.7	Uložení sloupku do ŽB patky	142
5.9.8	Připojení sloupku na vazník.....	148
5.10	Návrh a posudek spojů varianty B	152
5.10.1	Návrh příčných střešních ztužidel.....	152
5.10.2	Připojení táhla na vazník.....	152
5.10.3	Připojení vaznice na vazník	152
5.10.4	Připojení paždíku ke sloupku.....	152
5.10.5	Uložení vazníku na ŽB patku	152
5.10.6	Montážní spoje vazníku	167
5.10.7	Vrcholový kloub	172
5.10.8	Uložení sloupku do ŽB patky	183
5.10.9	Připojení sloupku na vazník.....	183
6.	ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍCH VARIANT ZASTŘEŠENÍ	184
6.1	Použitý materiál	184
6.2	Deformace	184
6.3	Vliv deformačního zatížení	185
6.4	Montážní spoje	185
6.5	Shrnutí	185
7.	PŘEPRAVA, MONTÁŽ A OCHRANA NOSNÝCH PRVKŮ.....	186
8.	ZÁVĚR	188
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	189
	SEZNAM OBRÁZKŮ	191
	SEZNAM TABULEK.....	193
	SEZNAM PŘÍLOH.....	193

Seznam použitého značení

A	plocha průřezu [m^2]
A_{net}	oslabená průřezová plocha [m^2]
A_s	průřezová plocha spojovacího prostředku [m^2]
A_w	plocha svarového obrazce odolávající smykovému namáhání [m^2]
a_i	rozteče spojovacích prostředků [mm]
b	šířka průřezu prvku [m]
b_{ef}	efektivní šířka průřezu [m]
c_{season}	součinitel ročního období [-]
c_{dir}	součinitel směru větru [-]
$c_o(z)$	součinitel ortografie [-]
c_{pe}	součinitel vnějšího tlaku [-]
c_{pi}	součinitel vnitřního tlaku [-]
$c_r(z)$	součinitel drsnosti terénu [-]
C_e	součinitel typu krajiny [-]
C_t	tepelný součinitel [-]
d	vnější průměr závitu [mm]
d_0	průměr otvoru pro spojovací prostředek [mm]
e	excentricita zatížení [mm]
$E_{0,05}$	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]
$E_{0,mean}$	průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]
F_m	síla vznikající od excentricity zatížení [kN]
h	výška průřezu prvku [m]
$F_{ax,Ed}$	návrhová osová síla ve spoji [kN]
$F_{ax,\alpha,Rk}$	charakteristická osová únosnost na vytažení spoje [kN]
$F_{t,Rd}$	únosnost spojovacího prostředku v tahu [kN]
$F_{v,Ed}$	návrhová posouvající síla ve spoji [kN]
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost příčně zatíženého spoje pro jeden stříh [kN]
$f_{ax,\alpha,Rk}$	pevnost na vytažení spoje pod úhlem α [MPa]
$f_{h,0,k}$	charakteristická pevnost v otlacení dřevěného prvku [MPa]
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost dřeva v ohybu [MPa]
$f_{m,d}$	návrhová pevnost dřeva v ohybu [MPa]
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost dřeva v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,90,k}$	charakteristická pevnost dřeva v tahu kolmo na vlákna [MPa]
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost dřeva v tlaku kolmo na vlákna [MPa]
f_u	mez pevnosti oceli [MPa]
f_y	mez kluzu oceli [MPa]
$f_{v,k}$	charakteristická pevnost dřeva ve smyku [MPa]
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení [kNm^{-2}]
h_{ap}	výška nosníku v zakřivené části [m]

i	poloměr setrvačnosti průřezu [m]
$I_v(z)$	intenzita turbulence [-]
$I_{x,y,z}$	moment setrvačnosti k dané ose [m ⁴]
k_1	součinitel turbulence [-]
k_{crit}	součinitel pro redukci pevnosti v ohybu [-]
k_m	tvarový součinitel průřezu [-]
k_r	součinitel terénu [-]
k_{vol}	součinitel objemu [-]
k_{cy}	součinitel vzpěrnosti k ose y [-]
k_{cz}	součinitel vzpěrnosti k ose z [-]
k_{mod}	součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti [-]
L	délka prvku [m]
L_r	roznášecí šířka [m]
l_{ef}	délka vniku hrotu zmenšena o jeden průměr vrutu [mm]
$M_{y,d}$	návrhový ohybový moment [kNm]
$M_{y,Rk}$	plastický moment únosnosti spoje [Nmm]
n_{ef}	účinný počet vrutů
N_{Ed}	návrhová normálová síla [kN]
$N_{t,Rd}$	únosnost v tahu ocelového průřezu [kN]
q_b	základní tlak větru [kNm ⁻²]
q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení [kNm ⁻²]
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak větru [kNm ⁻²]
r	poloměr oblouku [m]
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem [kNm ⁻²]
t_i	tloušťka daného konstrukčního prvku [mm]
t_l	tloušťka lamely dřevěného prvku [mm]
$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost větru [ms ⁻¹]
V	objem pod zakřivenou částí [m ³]
V_0	referenční objem [m ³]
$V_{e,d}$	návrhová posouvající síla [kN]
w_{inst}	okamžitý průhyb [mm]
w_{fin}	konečný průhyb [mm]
w_e	tlak větru [kNm ⁻²]
$W_{x/y/z}$	modul průřezu prvku k dané ose [m ³]
z_0	kategorie terénu [m]
α	sklon výslednice zatížení k vláknům dřeva [°]
α_{ap}	úhel sklonu náběhu ve středu zakřivené části [°]
β_c	součinitel imperfekce [-]
β_w	korekční faktor pro svary [-]
γ_m	dílčí součinitel vlastností materiálu [-]
σ_{\perp}	normálové napětí kolmé k účinné rovině koutového svaru [MPa]
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]

$\sigma_{m,d}$	návrhové normálové napětí v prvku [MPa]
$\sigma_{m,crit}$	kritické napětí v ohybu [MPa]
ρ	měrná hmotnost vzduchu [kgm ⁻³]
ρ_k	charakteristická hustota dřeva [kgm ⁻³]
$\lambda_{rel,y;z}$	poměrný štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem dané osy [-]
λ_y	štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem osy y [-]
λ_z	štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem osy z [-]
τ_{\parallel}	smykové napětí rovnoběžné s osou svaru [MPa]
τ_{\perp}	smykové napětí kolmé k ose svaru [MPa]
\emptyset	součinitel vzpěrnosti u ocelových konstrukcí [-]
μ_1	tvarový součinitel zastřešení – sníh nenavátý [-]
μ_3	tvarový součinitel zastřešení – sníh navátý [-]

1. Úvod

Cílem diplomové práce byl návrh a posouzení všech nosných částí zastřešení sportovní haly. To bylo provedeno z materiálů na bázi dřeva. Jde o jednolodní halu s jednoduchou obdélníkovou dispozicí. Byly zpracovány dvě varianty konstrukčního řešení. Obě varianty byly podrobněji zpracovány a byl pro ně proveden statický výpočet, návrh a posouzení nosných prvků a výkresová dokumentace. V závěru práce je provedeno zhodnocení obou konstrukčních variant z hlediska různých aspektů.

Sportovní hala byla umístěna v moravskoslezském kraji ve městě Havířov. To bylo zohledněno při výpočtu sněhových a větrných oblastí. Hala byla zasazena do struktury města v blízkosti zástavby a přilehlé střední stavební školy. Rozměry byly zvoleny podle potřebných hracích ploch pro různé kolektivní sporty, jako je basketbal, volejbal a házená.

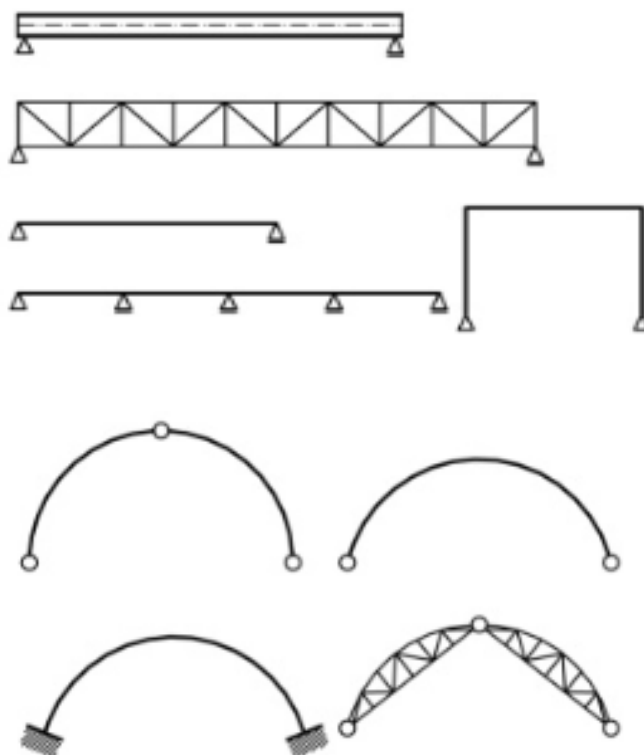
Hlavním předmětem diplomové práce byl statický návrh a posouzení všech nosných částí zastřešení, včetně spojů a prvků zavětrování. Posudek jednotlivých prvků a spojů je v souladu s platnými evropskými normami pro posuzování materiálů na bázi dřeva a oceli. Hlavní nosný systém tvoří v obou případech obloukové vazníky z lepeného lamelového dřeva. Prostorové ztužení je zajištěno pomocí ocelových táhel umístěných mezi určitými příčnými vazbami a pomocí dřevěných vaznic. Pro výpočet vnitřních sil a deformací byl použit výpočtový program Scia Engineer 2015, kde byl následně vytvořen prostorový model nosné konstrukce tak, aby odpovídal pokud možno reálné situaci. Veškeré zatížení bylo zadáváno jako liniové na jednotlivé prvky zastřešení.

2. Konstrukční systémy zastřešení sportovních hal

Výběr konstrukčního systému halového objektu určeného pro sportovní využití závisí na mnoha faktorech. Nejdůležitějším z nich je architektonický vzhled, výběr správného materiálu a požadavky investora. Dalším neméně důležitým hlediskem pro volbu nosného systému je rozpětí, podle kterého volíme statický systém tak, aby byl návrh co nejúspornější z hlediska použitého materiálu.

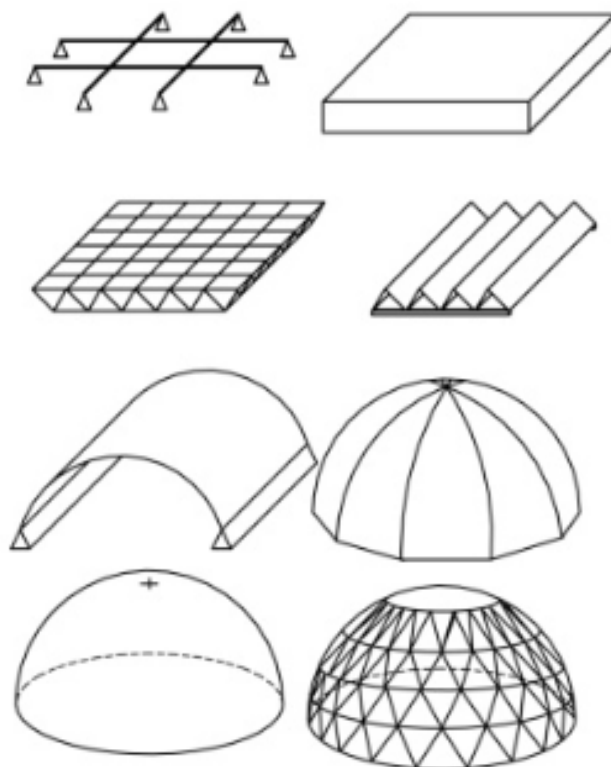
2.1 Základní rozdělení

Systémy halových objektů lze rozčlenit do dvou základních skupin - na rovinné konstrukce a prostorové konstrukce. Rovinné konstrukce přenášejí zatížení pouze ve své rovině. Zatížení působící v jiných směrech je přenášeno pomocí ztužidel. Statický výpočet těchto konstrukcí je zpravidla jednoduchý a postupy jsou obsaženy v dnešních platných normách. S rovinnými konstrukcemi, jakožto hlavními nosnými prvky, se můžeme v praxi setkat nejčastěji.



Obr. 1 – Stat. schémata rovinných konstrukcí [10]

Prostorové konstrukce přenášejí zatížení ze všech směrů jako jeden celek a následně do základových konstrukcí – rošty, desky, lomenice. Oproti rovinným konstrukcím je statický výpočet poněkud složitější a výsledky mnohdy nejsou transparentní. Tvoření výpočtových modelů těchto konstrukcí už není jednoduchá záležitost a je potřeba jim věnovat významně větší pozornost, než u konstrukcí rovinných.

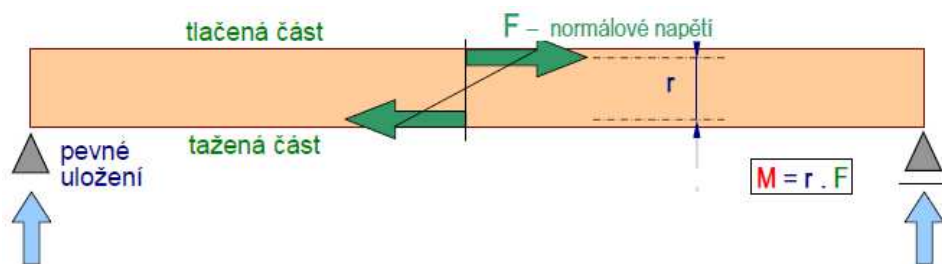


Obr. 2 – Stat. schémata prostorových konstrukcí [10]

2.2 Statické působení rovinných nosných konstrukcí

2.2.1 Ohýbané konstrukční systémy

Jde o nejpoužívanější typ nosné konstrukce u všech druhů staveb. Hlavní podstatou návrhu je výběr vhodného schématu příčně zatížené konstrukce, která následně přenáší zatížení do krajních podpor – nosníky, rámy. Konstrukce tohoto typu mají výrobně jednoduchý tvar a poměrně velký vnitřní prostor v závislosti na výšce opěrných stěn. Další výhodou je, že opěrná stěna (podpora) není namáhána výraznou příčnou normálovou silou. Nevýhodou však je, že se tento typ konstrukcí používá pro omezená rozpětí.



Obr. 3 – Ohýbaný konstrukční systém – prostý nosník [11]



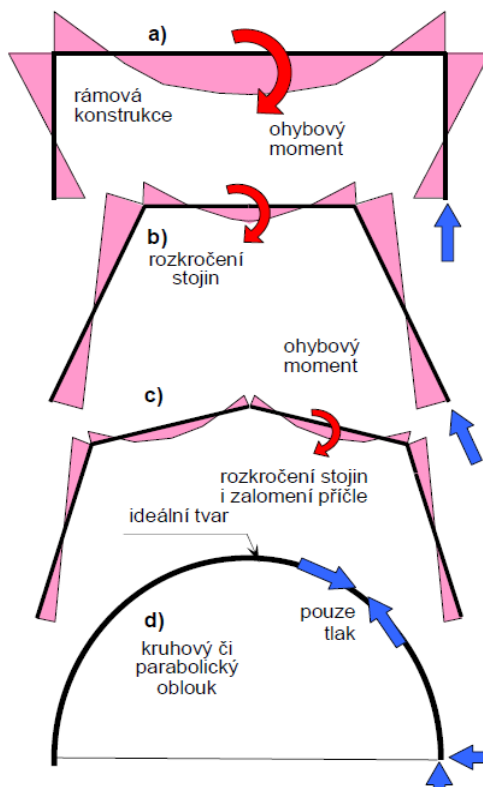
Obr. 4 – Zastřešení multifunkčního centra v Hlinsku – nosníková konstrukce [12]



Obr. 5 – Tenisová hala Velichovky – rámová konstrukce [12]

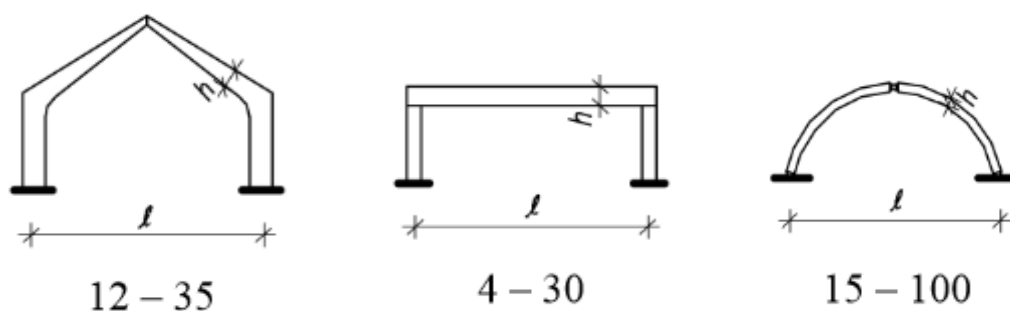
2.2.2 Tlačené konstrukční systémy

Pokud se zamezí v obou podporách vodorovnému posunutí, vznikne v konstrukci tlaková nebo tahová síla. Velikost této síly, v případě tlačených systémů, je závislá na nadvýšení konstrukce. Aby se docílilo úplného tlakového působení konstrukce, musí její tvar odpovídat tlakové čáře působícího zatížení. To je ovšem v reálné situaci neproveditelné, protože zatížení působí na konstrukci proměnlivě a její tvar zůstává stále stejný. Část zatížení je tedy přenášena i ohybovým momentem. Teoretické docílení úplného tlakového působení je znázorněno na jednoduchém obrázku rámové konstrukce. Pomocí rozkročování stojek a zalamování příčle se postupně snižují ohybové momenty až do nulové hodnoty, kdy působí v konstrukci pouze tlak – tzv. ideální tvar.



Obr. 6 – Tlakové působení konstrukce [11]

Oproti konstrukcím ohýbaným dokážou tlačené překlenout mnohem větší rozpětí. Jejich architektonický tvar je také mnohem zajímavější, proto jsou pro sportovní stavby využívány s největší oblibou. Nevýhodou je skutečnost, že se musí dbát větší důraz na opěrný systém, protože vznikají významné obousměrné podporové síly.



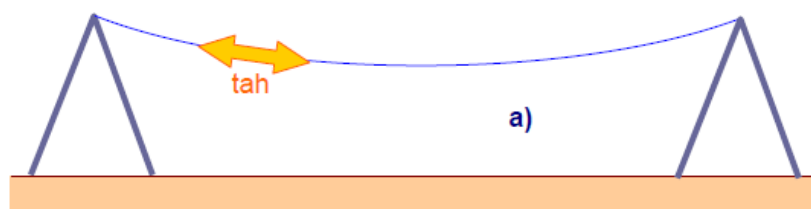
Obr. 7 – Porovnání vhodných rozpětí ohýbané a tlačené konstrukce [10]

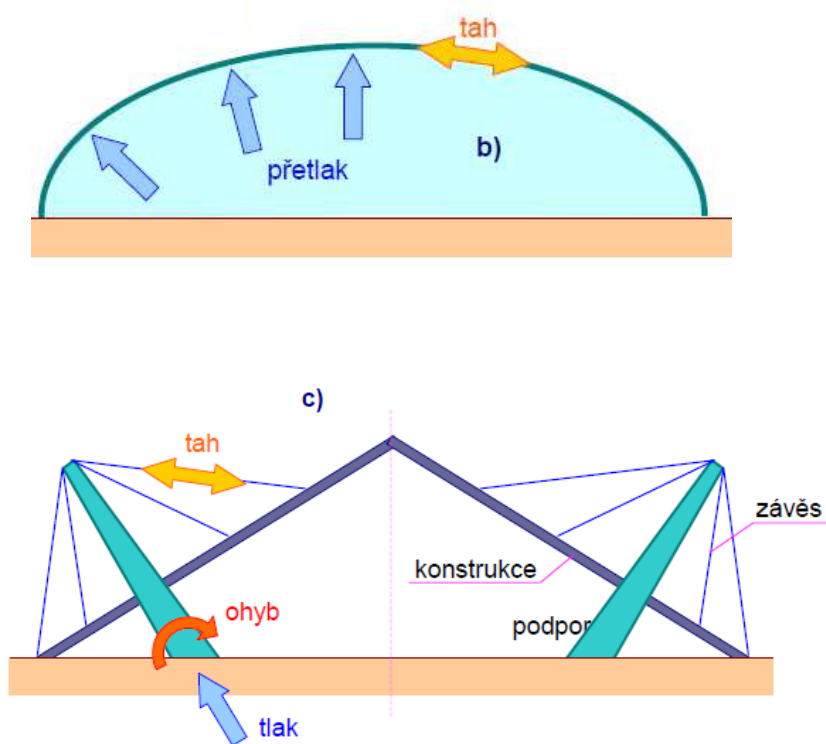


Obr. 8 – Tenisová hala Plzeň [13]

2.2.3 Tažené konstrukční systémy

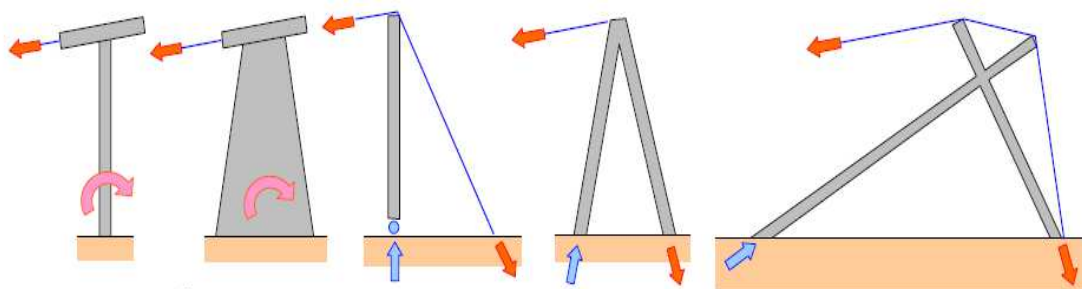
Základem pro tvorbu tažené konstrukce je totéž co u tlačené, avšak velikost tažené síly je závislá na průvěsu dané konstrukce. Nosné prvky tažené konstrukce nemají ohybovou tuhost, a proto zde nevznikají ohybové momenty. Tvar se přizpůsobuje působícímu zatížení a veškeré zatížení přenáší pouze normálová tahová síla.



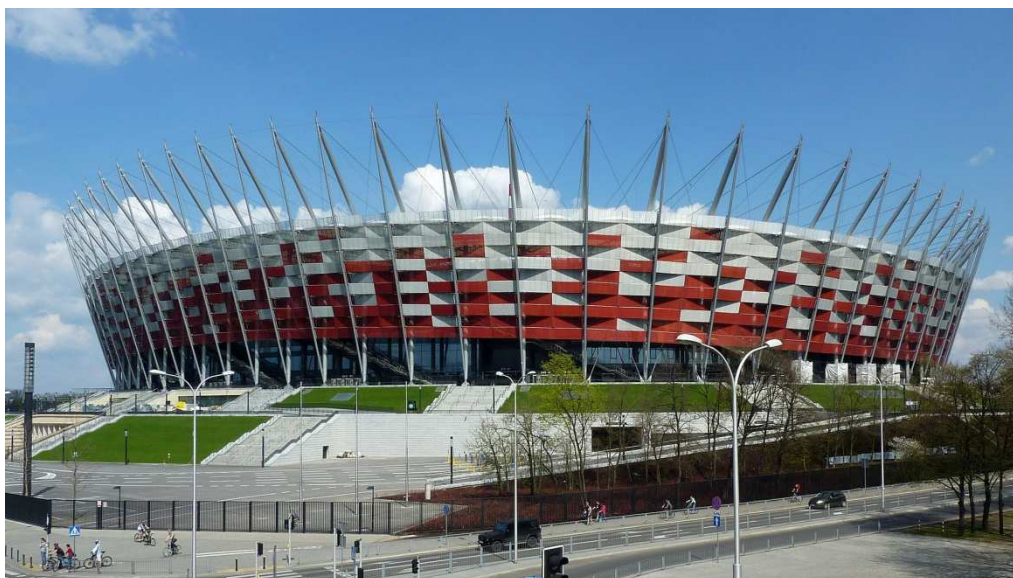


Obr. 9 – Druhy tažených konstrukčních systémů [11]

Způsobů jak vytvořit statické schéma tažených konstrukcí je mnoho. Patří mezi ně konstrukce visuté, pneumatické a zavěšené. Visuté konstrukce jsou tvořeny zejména pomocí lan bez ohybové tuhosti. Tyto lana se tvarem přizpůsobují výslednicové čáře vnějšího zatížení. Normálová síla, která vzniká od působícího zatížení v laně, se poté přenáší do opěr, které jsou mnohdy vysoko nad terénem. Je zapotřebí dbát na efektivní konstrukční návrh těchto opěr.



Obr. 10 – Varianty konstrukčního řešení opěr[11]



Obr. 11 – Národní stadion ve Varšavě [14]

Zvláštností u pneumatických konstrukcí je, že se uvnitř objektu vytvoří přetlak. Ten poté nese membránový plášť pomocí tahových sil v kombinaci s povrchovými ztužujícími lany. Používají se zejména pro tenisové haly.



Obr. 12 – Tenisový areál Brno [15]

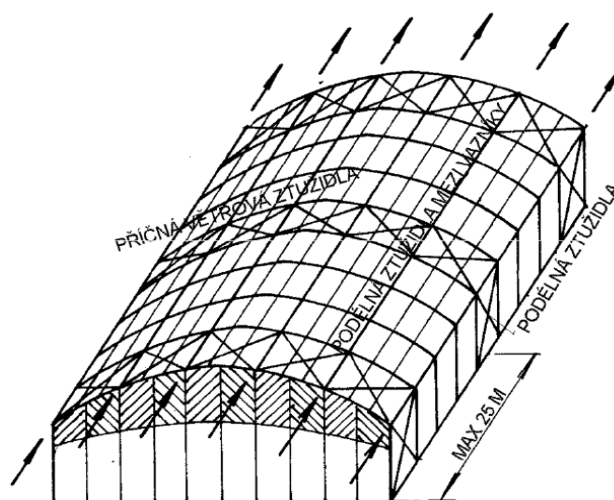
Základním principem zavěšených konstrukcí je zavěšení plošné střešní konstrukce pomocí ocelových táhel, které jsou následně připevněny na podpůrný nosný systém – tlačené piloty, rámy nebo oblouky. Jedná se o velmi efektivní systémy pro navrhování halových objektů velkých rozpětí. Používají se zejména pro fotbalové a atletické stadiony.



Obr. 13 – Zavěšená konstrukce stadionu Mosese Mabhidu v JAR [16]

2.3 Prostorová tuhost halových objektů

Nejdůležitějším faktorem při návrhu halových objektů je jejich celková prostorová tuhost a stabilita. U rovinných konstrukcí je toho docíleno pomocí střešních a sloupových ztužidel. Tyto ztužidla přenášejí vodorovné účinky zatížení v obou směrech. Tvořeny jsou pomocí ocelových táhel (příčná ztužidla) a dřevěných vaznic (podélná ztužidla). Příčná ztužidla jsou konstruována mezi příčné vazby v určitých vzdálenostech a podélná mezi všechny příčné vazby. Je proto zapotřebí jim věnovat pozornost a zahrnout je ve statickém výpočtu.



Obr. 14 – Schéma zavětrování halové obloukové konstrukce [17]



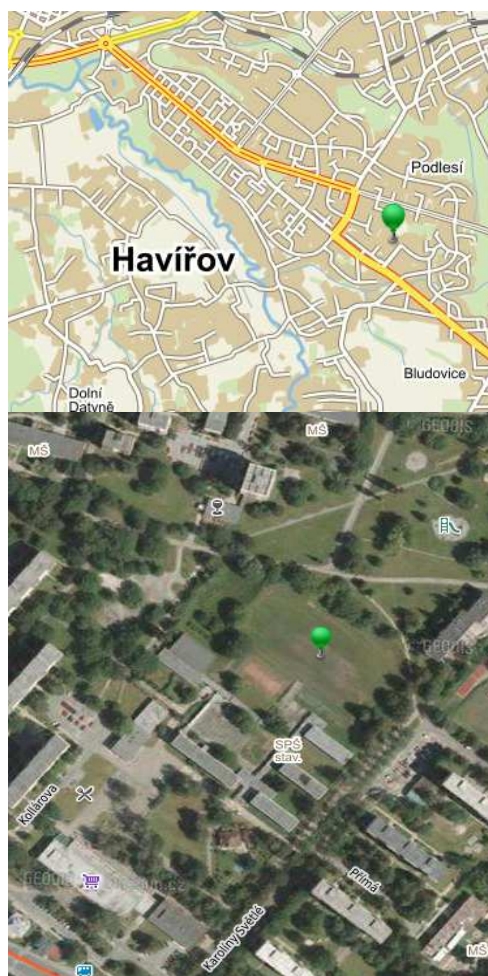
Obr. 15 – Tělocvična v Praze – Ruzyni [12]

3. Umístění a dispozice sportovní haly

Vzhledem k použitému materiálu pro hlavní nosné prvky a z hlediska velkého rozpětí konstrukce bylo rozhodnuto navrhnout sportovní halu s tlačným konstrukčním systémem. Jde o nejúspornější a vzhledově nejlepší řešení pro dané rozpětí. Pro hlavní nosné vazníky a sloupky štítových stěn bylo použito lepené lamelové dřevo v kombinaci s ocelovými příčnými střešními ztužidly. Pro vaznice a paždíky bylo použito rostlé dřevo. Ve všech případech se jedná o prvky klasického obdélníkového průřezu.

Umístění sportovní haly je situováno do města Havířov, v moravskoslezském kraji, poblíž tamní střední stavební školy. Nachází se zde travnatá plocha, která je vhodná pro výstavbu nové haly, která bude sloužit také jako tělocvična pro zdejší žáky.

Z této skutečnosti vyplývají vstupní hodnoty, které jsou nutné pro výpočet proměnných zatížení sněhem a větrem. K těmto výpočtům byly použity platné normy a internetový web www.sněhovamapa.cz. Objekt bude sloužit široké škále sportovních aktivit jako je basketbal, házená, badminton a ostatní sporty.



Obr. 16 – Umístění stavby skrze portál mapy.cz

Podkladem pro návrh dispozice objektu byly sportovní haly postavené v minulých letech. Hala je rozdělena na dvě části – sportovní část a provozní část. Ve sportovní části se nachází tribuny a hrací plocha sloužící k více druhům sportovních aktivit, jako je házená, volejbal, basketbal. V provozní části se bude nacházet vstupní hala s občerstvením, šatny a sociální zařízení pro návštěvníky.

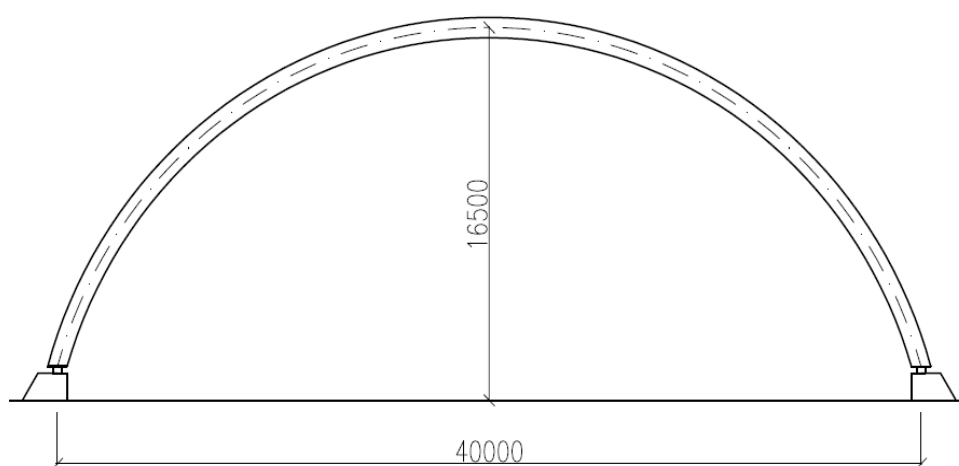
Základní rozměry sportovní haly

Délka objektu: 57,6 m

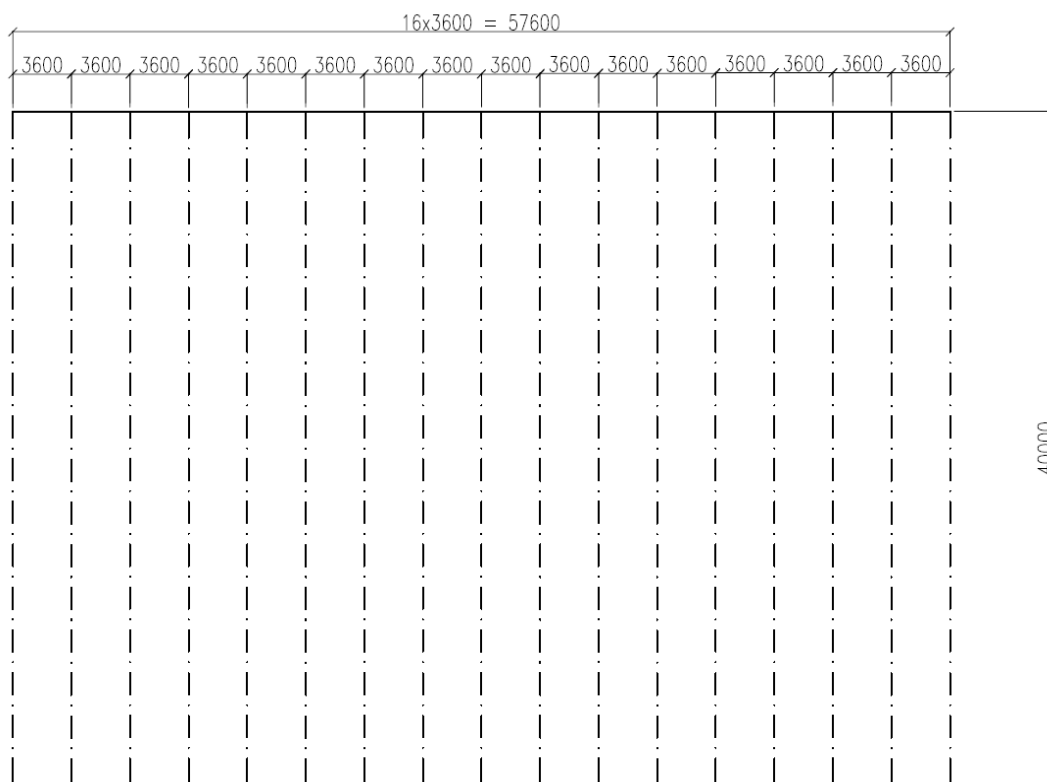
Šířka objektu: 40 m

Výška objektu: 16,5 m (měřeno od podlahy k osám vazníků)

Hlavní nosné prvky jsou kladeny v osové vzdálenosti 3,6 m v podélném směru haly. Podrobnější výkresy jednotlivých částí haly jsou obsaženy ve výkresové dokumentaci. Vazníky jsou kotveny pomocí ocelových čepů do železobetonových patek.



Obr. 17 – Schéma příčného řezu haly



Obr. 18 – Půdorysné schéma haly

4. Vstupní údaje pro statický výpočet

4.1 Materiálové charakteristiky

Hlavním materiálem pro výstavbu nosných prvků sportovní haly bylo lepené lamelové dřevo. Lepené lamelové dřevo bylo použito zejména díky variabilitě tvaru, vizuálnímu vzhledu, požární odolnosti a zvýšené odolnosti ve vlhkém prostředí, protože se paty oblouků budou nacházet vně objektu. Hlavní nosné oblouky jsou řešeny jako plnostěnné, třídy pevnosti GL28h. Prvky podélného zavětrování byly navrhovány z rostlého dřeva třídy pevnosti C24. Pro prvky příčného zavětrování byla použita ocel třídy pevnosti S460 a pro spoje jednotlivých dřevěných prvků ocel třídy pevnosti S355.

Posuzované prvky jsou navrhovány pro třídu provozu 3, protože se část nosných prvků bude nacházet vně a bude zde podstatně větší vliv vlhkosti, než uvnitř objektu. Doporučené hodnoty charakteristických pevností a modulů pružnosti pro jednotlivé pevnostní třídy:

LLD GL28h

$$f_{m,k} = 28,0 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,45 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 3,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 12600 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 10200 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 410 \text{ kgm}^{-3}$$

$$k_{mod} = 0,7$$

$$k_{def} = 2,0$$

$$\gamma_M = 1,25$$

RD C24

$$f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,3 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 350 \text{ kgm}^{-3}$$

$$k_{mod} = 0,7$$

$$k_{def} = 2,0$$

$$\gamma_M = 1,3$$

Návrhové hodnoty pevnostních charakteristik byly určeny podle vztahu:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

LLD GL28h

$$f_{m,d} = 15,68 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = 10,92 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 14,84 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = 0,25 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = 1,68 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 1,79 \text{ MPa}$$

RD C24

$$f_{m,d} = 12,92 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = 7,53 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = 11,3 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = 0,22 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = 2,85 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 1,35 \text{ MPa}$$

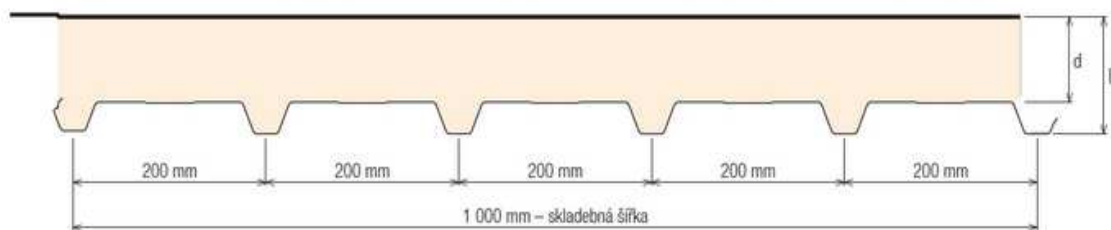
4.2 Zatížení

4.2.1 Vlastní tíha

Navrhovaný objekt je zatěžován vlastní tíhou jak nosných prvků, tak střešních panelů. Vlastní tíha nosných prvků byla vygenerována pomocí programu Scia Engineer 2015. Pro zastřešení sportovní haly byly použity sendvičové izolační panely firmy Kingspan. Tyto střešní panely jsou určeny zejména pro ploché střechy, ale mohou být použity i na obloukové zastřešení pro příčné poloměry větší než 20 m. Hydroizolační vrstvu těchto panelů tvoří PVC fólie s přesahem pro dostatečnou podélnou voděodolnost celé střechy.

KINGSPAN KS1000 TOP-DEK

Řez panelem



Obr. 19 – Příčný řez střešním panelem [18]

d - tloušťka izolačního jádra [mm]	60	80	100
D - celková tloušťka panelu [mm]	90	110	130
Hmotnost [kg/m ²]	10,75	11,55	12,35

Obr. 20 – Rozměry a hmotnost střešních panelů [18]

Pro konkrétní zastřešení byly vybrány panely celkové tloušťky 110 mm.

$$g_{k1} = 0,12 \text{ kNm}^{-2}$$

Zatížení vybavením haly bylo také uvažováno, ale pouze přibližnou bezpečnou hodnotou. Patří zde tíha veškerých osvětlení v interiéru haly, vzduchotechnika a další vybavení.

$$g_{k2} = 0,20 \text{ kNm}^{-2}$$

Celkové ostatní stálé zatížení:

$$g_k = 0,12 + 0,2 = 0,32 \text{ kNm}^{-2}$$

4.2.2 Užitné zatížení

Hodnota užitného zatížení byla stanovena dle normy ČSN EN 1991-1-1 – kategorie střechy H. Toto zatížení se ve výpočtovém programu nekombinovalo se zatížením sněhem.

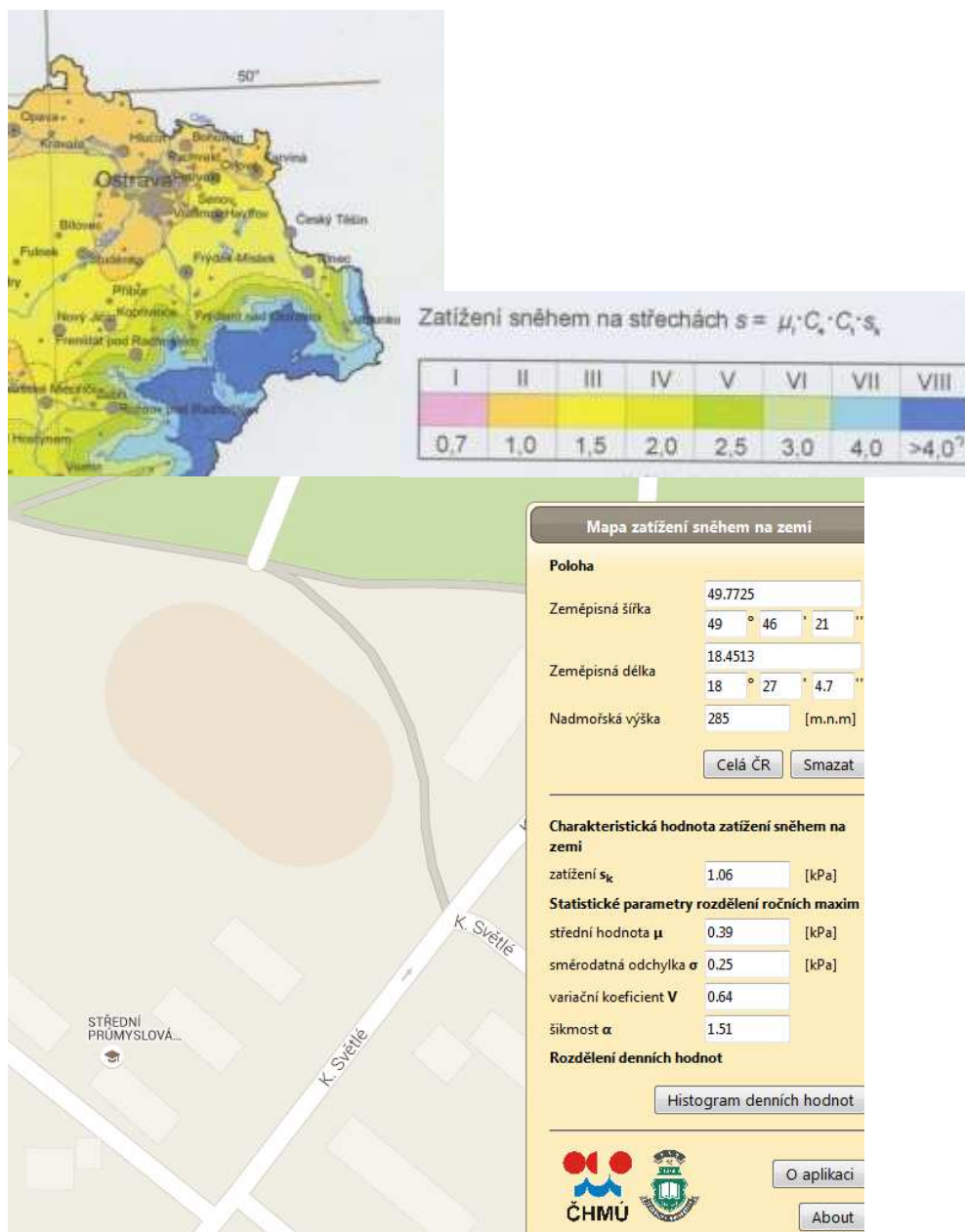
$$q_k = 0,75 \text{ kNm}^{-2}$$

4.2.3 Proměnná zatížení

Do proměnných zatížení se v konkrétním případě řadí klimatické vlivy – v tomto případě zatížení sněhem a větrem.

A, Zatížení sněhem

Vzhledem k tomu, že se Havířov nachází v blízkosti rozmezí II. a III. sněhové oblasti, byla přesná hodnota charakteristického zatížení sněhem stanovena pomocí serveru www.snehovamapa.cz.



Obr. 21 – Mapy sněhových oblastí [19]

Charakteristická hodnota zatížení sněhem:

$$s_k = 1,06 \text{ kNm}^{-2}$$

Podrobný výpočet účinků zatížení sněhem je rozpracován až v navazující kapitole. Objekt je umístěn v městské zástavbě. Okolní objekty mají zhruba stejnou výšku a jsou vzdálené od okolí haly, z čehož vyplývá, že se jedná o normální typ krajiny.

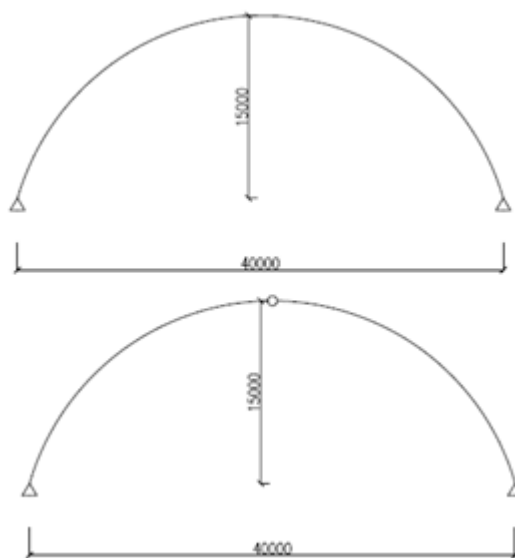
5. Statický návrh a posouzení nosných prvků

5.1 Popis konstrukce

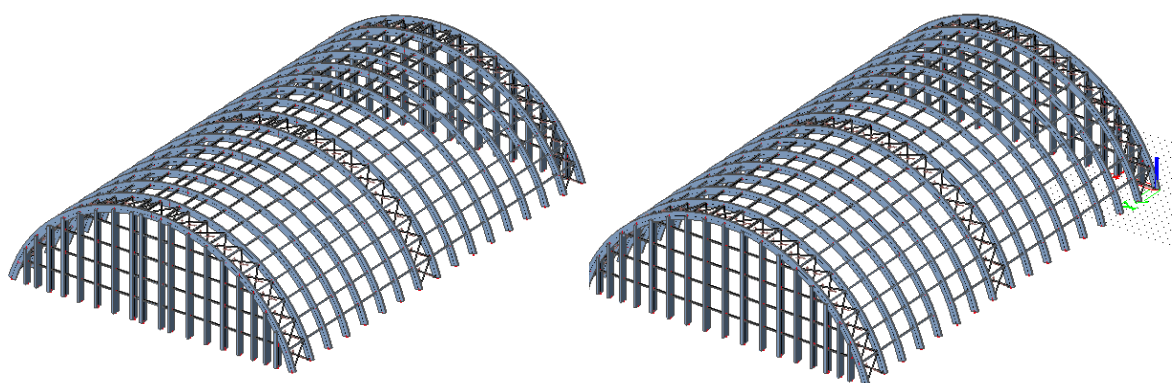
Výpočtové modely konstrukce byly vytvořeny v programu Scia Engineer 2015. Jedná se o prostorové modely, kde veškeré uložení v příčném i podélném směru je provedeno jako kloubové. Byly provedeny dvě varianty hlavních nosných prvků. První varianta znázorňuje dvojkloubový oblouk. Jedná se o konstrukci staticky neurčitou. Druhá varianta představuje trojkloubový oblouk, který je staticky určitý. Obě varianty mají své výhody a nevýhody. Výpočet účinků vnějších zatížení bude proveden na obou typech. Vzhledem k tomu, že se konstrukce nachází v poměrně poddolované lokalitě, bude proveden také odhad odezvy konstrukce na deformační zatížení nerovnoměrným poklesem podpor. Návrh nosných prvků, spojů a ztužení bude také proveden pro obě varianty. Následně budou varianty zhodnoceny z hlediska různých aspektů.

Hlavní nosné oblouky jsou kladeny v osově vzdálenosti 3,6 m a jsou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva třídy GL28h. Kloubového uložení vazníků do podpor je docíleno pomocí ocelových čepů, které jsou osazeny na železobetonových patkách. Také vrcholový kloub ve *variantě B* je vytvořen pomocí ocelového čepu.

Vaznice zajišťují stabilitu a roznos sil v podélném směru a jsou vyrobeny z rostlého dřeva třídy C24. Podélná osová vzdálenost vaznic byla stanovena na 2,68 m.



Obr. 23 – Varianty hlavních nosných prvků



Obr. 24 – Výpočtové prostorové modely obou variant

Pro zajištění celkové prostorové stability objektu byly mezi konkrétní vazníky namontovány ocelová táhla třídy pevnosti S460. Umístění táhel bylo zvoleno mezi koncové vazníky a v polovině délky sportovní haly. Jsou namodelovány tak, aby v nich nevznikaly tlakové složky vnitřních sil. Z toho důvodu bylo nutné počítat konstrukci pomocí nelineárního výpočtu.

5.2 Výpočet zatížení

Zatížení, které působí na konstrukci zastřešení, bylo ve výpočtovém modelu zadáváno jako spojité liniové na vaznice. Ty následně bodově přenášejí zatížení do hlavních nosných prvků. Obdobně bylo postupováno u štítových stěn, kde zatížení bylo zadáváno na paždíky a ty roznášejí zatížení do sloupků. Výpočet liniového zatížení byl proveden roznásobením plošného zatížení s roznášecí šířkou jednotlivých vaznic a paždíků. Počítáno bylo s vlastní tíhou jednotlivých nosných prvků, která byla vygenerována ve výpočetním programu. Dále zde bylo zohledněno ostatní stálé zatížení – střešním pláštěm a vybavením haly, jako je vzduchotechnika, osvětlení a ocelové spojovací prostředky. Další nezbytnou součástí výpočtu bylo zatížení užité a proměnné, do kterého řadíme klimatické vlivy působící na konstrukci – sníh a vítr. Stálé a ostatní stálé zatížení bylo počítáno v předchozí kapitole, dále jsou uvedeny jen výsledné hodnoty.

5.2.1 Stálé zatížení

Vlastní tíha všech nosných prvků konstrukce byla vygenerována programem Scia Engineer 2015 a je zahrnuta ve výpočtu vnitřních sil.

Ostatní stálé zatížení:

$$g_k = 0,12 + 0,2 = 0,32 \text{ kNm}^{-2}$$

5.2.2 Užité zatížení

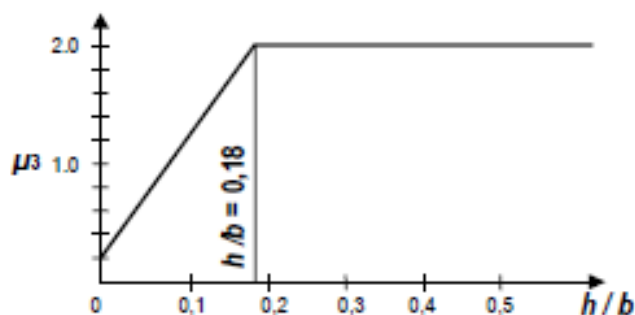
Hodnota užitého zatížení byla stanovena dle normy ČSN EN 1991-1-1 – kategorie střechy H:

$$q_k = 0,75 \text{ kNm}^{-2}$$

5.2.3 Proměnná zatížení

A - Zatížení sněhem

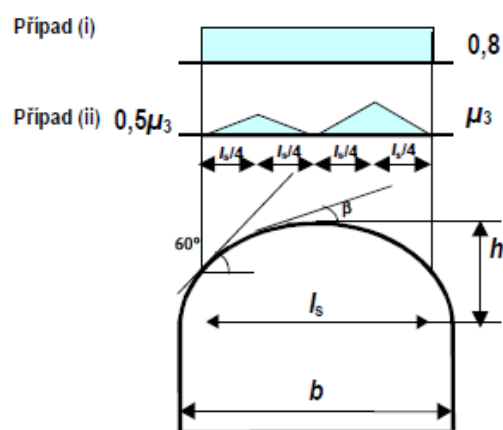
Zastřešení sportovní haly má válcový tvar, který se musí zohlednit při výpočtu zatížení sněhem. Postupováno bylo podle normy ČSN EN 1991-1-3. Bylo nutno určit tvarový součinitel střechy μ_3 , pomocí grafu závislosti mezi výškou a šířkou objektu. Tento součinitel se dále použije pro výpočet stavu navátého sněhu na jedné straně zastřešení.



Obr. 25 – Tvarový součinitel μ_3 [2]

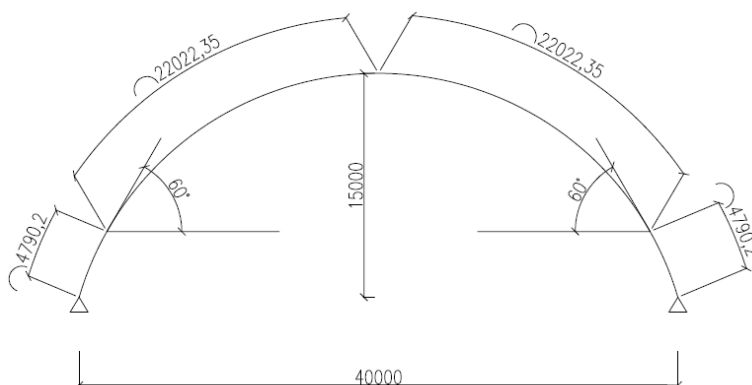
$$\frac{h}{b} = \frac{15}{40} = 0,375 \Rightarrow \mu_3 = 2,0$$

- Typ střechy - Válcová
- Výška objektu - $h = 15\text{ m}$
- Sněhová oblast I/II - $s_k = 1,06\text{ kNm}^{-2}$
- Typ krajiny – normální - $C_e = 1,0$
- Tepelný součinitel - $C_t = 1,0$
- Tvarový součinitel μ_1 - $\mu_1 = 0,8$
- Tvarový součinitel μ_3 - $\mu_3 = 2,0$



Obr. 26 – Zohlednění tvaru střechy pro výpočet zatížení sněhem[2]

Z obrázku můžeme jasně vidět, že zatížení se na střeše uvažuje pouze v případě, že není překročen úhel 60° mezi rovinou střešní konstrukce a vodorovnou rovinou. Poté se sníh na střeše již neudrží a nezatěžuje ji.



Obr. 27 – Rozdělení délek oblouku pro zatížení sněhem - konkrétní zastřešení

Výpočet charakteristické hodnoty zatížení sněhem:

Roznášecí šířka (osová vzdálenost vaznic) – $L_r = 2,68 \text{ m}$

Rovnoměrný (nenavátý) sníh - $s_{k1} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_1$

$$s_{k1} = 1,06 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,85 \text{ kNm}^{-2}$$

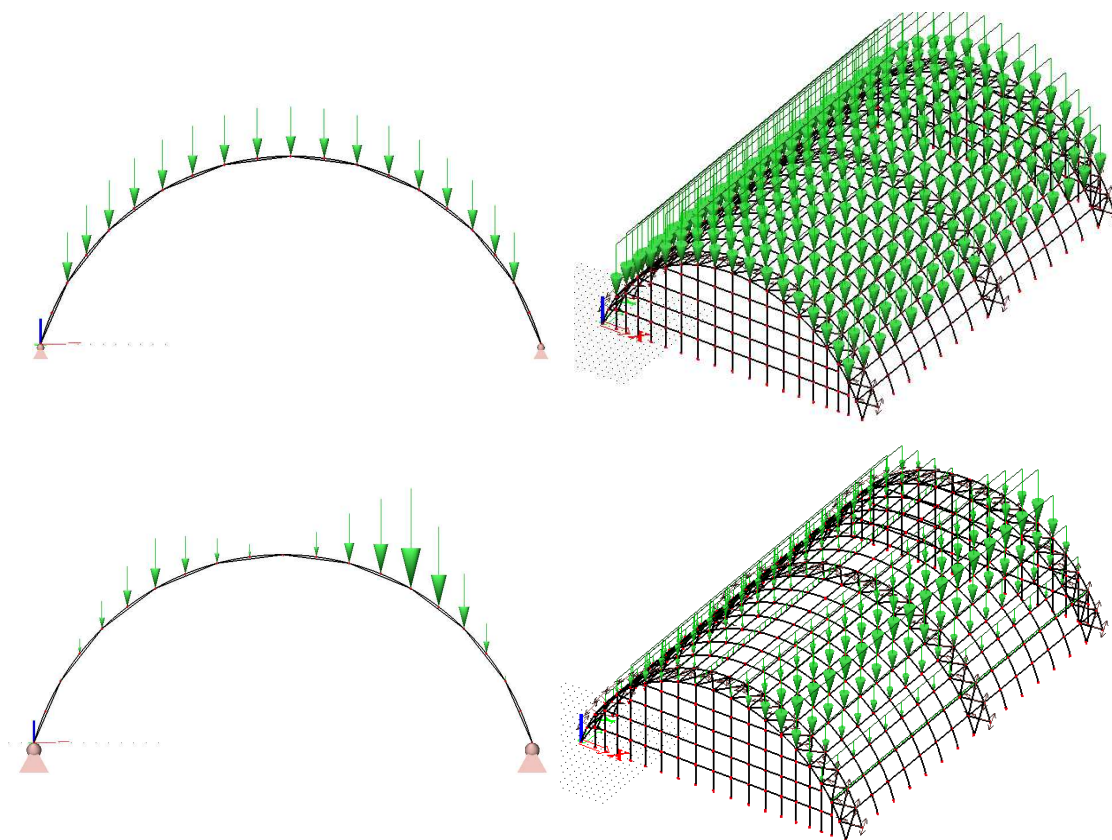
Nerovnoměrný (navátý sníh) - $s_{k2} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_3$

$$s_{k2} = 1,06 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 = 2,12 \text{ kNm}^{-2}$$

$$s_{k3} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot 0,5 \cdot \mu_3$$

$$s_{k3} = 1,06 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 2,0 = 1,06 \text{ kNm}^{-2}$$

Pro zatížení sněhem byly vytvořeny celkem tři zatěžovací stavy. Skupina zatížení musela být volena jako výběrová, aby se jednotlivé zatěžovací stavy v této skupině spolu nekombinovaly. Veškeré zatížení bylo přepočítáno na liniové a následně kladeno na jednotlivé vaznice, které poté bodově zatěžují přilehlé vazníky svými reakcemi.



Obr. 28 – Zatěžovací stavy ZS3, ZS4 – sníh nenavátý a navátý vpravo

Zatěžovací stav ZS5, sníh navátý vlevo, se tvořil obdobně jako zatěžovací stav ZS4, avšak větší hodnoty zatížení jsou na levé straně zastřešení.

B - Zatížení větrem

Výpočet zatížení větrem na konkrétní sportovní halu bylo stanoveno podle normy ČSN EN 1991-1-4. Bylo nutno zohlednit válcový tvar střechy jak pro příčný, tak pro podélný směr působení větru.

- Lokalita - Havířov
- Kategorie terénu III - $z_0 = 0,3 \text{ m} ; z_{min} = 2 \text{ m}$
- Větrná oblast I - $v_{b,0} = 22,5 \text{ ms}^{-1}$

- Součinitel ročního období - $c_{season} = 1,0$

- Součinitel směru větru - $c_{dir} = 1,0$

Základní rychlost větru - $v_b = v_{b,0} \cdot c_{season} \cdot c_{dir} = 22,5 \text{ ms}^{-1}$

- Výška objektu - $z = z_e = h + f = 1,5 + 15 = 16,5 \text{ m}$

- Součinitel terénu - $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,22$

- Součinitel drsnosti terénu - $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,22 \cdot \ln\left(\frac{16,5}{0,3}\right) = 0,86$

- Součinitel ortografie - $c_o(z) = 1,0$

Střední rychlost větru - $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$

$$v_m(z) = 0,86 \cdot 1,0 \cdot 22,5 = 19,35 \text{ ms}^{-1}$$

- Součinitel turbulence - $k_1 = 1,0$

- Intenzita turbulence - $I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{16,5}{0,3}\right)} = 0,249$$

- Měrná hmotnost vzduchu - $\rho = 1,25 \text{ kgm}^{-3}$

- Základní tlak větru - $q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2$

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 22,5^2 = 0,32 \text{ kNm}^{-2}$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,249] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 19,35^2(z)$$

$$q_p(z) = 0,64 \text{ kNm}^{-2}$$

Z výsledné hodnoty maximálního dynamického tlaku větru se následně počítá tlak a sání větru na jednotlivé plochy zastřešení a štítových stěn.

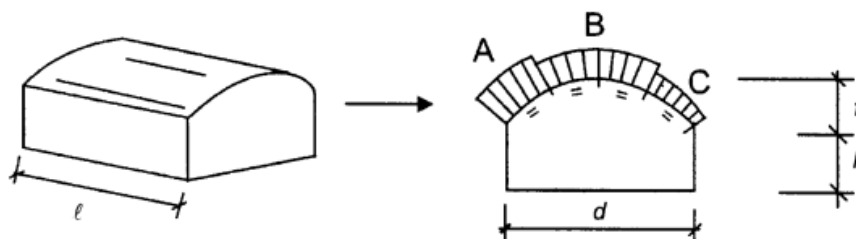
Tlak nebo sání větru w_e , který působí na vnější povrchy konstrukce zastřešení, se získá ze vztahu:

$$w_e = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi})$$

Kde se součinitele c_{pe} získají pomocí tabulek pro jednotlivé oblasti střechy a stěn v normě. Součinitel c_{pi} se uvažuje dvěma krajními hodnotami 0,2 a (-0,3).

Příčný vítr

Bylo nutné určit jednotlivé součinitele pro tlak větru v oblastech A, B a C. Vzhledem k tomu, že $h = 0$, působí vítr pouze na krytinu zastřešení a štítové stěny.



Obr. 29 – Zatěžovací oblasti střechy – příčný vítr [3]

Tlak a sání větru na krytinu zastřešení:

Pro $c_{pi} = 0,2$

$$w_A = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (0,6 - 0,2) = 0,26 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-1,05 - 0,2) = -0,80 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-0,4 - 0,2) = -0,38 \text{ kNm}^{-2}$$

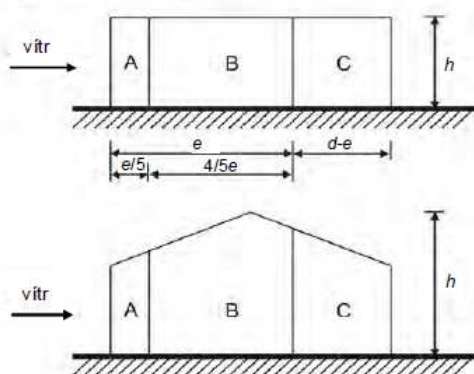
$$\text{Pro } c_{pi} = -0,3$$

$$w_A = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (0,6 + 0,3) = 0,58 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-1,05 + 0,3) = -0,48 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-0,4 + 0,3) = -0,06 \text{ kNm}^{-2}$$

Tlak a sání větru na štítové stěny:



Obr. 30 – Zatěžovací oblasti pro štítové stěny – příčný vítr [3]

$$\text{Pro } c_{pi} = 0,2$$

$$w_A = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,90 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-0,8 - 0,2) = -0,64 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-0,5 - 0,2) = -0,45 \text{ kNm}^{-2}$$

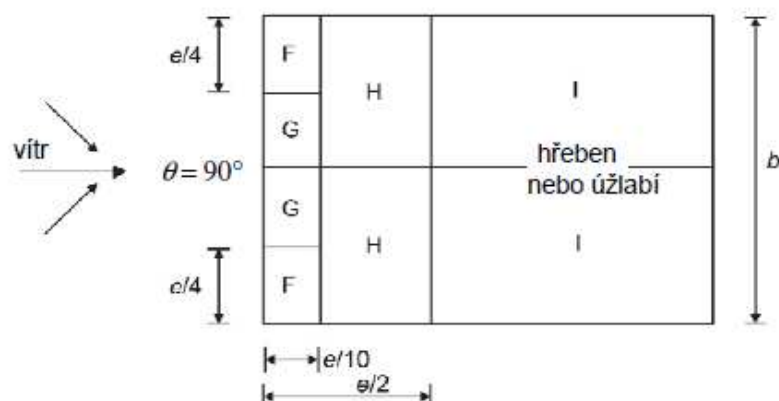
$$\text{Pro } c_{pi} = -0,3$$

$$w_A = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-1,2 + 0,3) = -0,58 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-0,8 + 0,3) = -0,32 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-0,5 + 0,3) = -0,13 \text{ kNm}^{-2}$$

Podélný vítr



Obr. 31 – Zatěžovací oblasti střechy – podélný vítr [3]

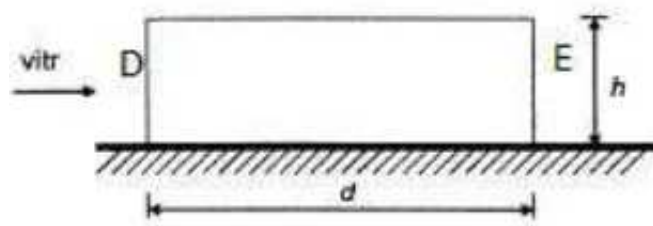
Jednotlivé hodnoty tlaků a sání pro podélný vítr jsou proměnné podle sklonu střechy. Byly proto zpracovány následující tabulky, ve kterých můžeme vidět závislost součinitele $c_{pe,10}$ na měnícím se sklonu zastřešení.

Sklon střechy [°]	Oblast F		Oblast G		Oblast H		Oblast I	
	$c_{pe,10}$	w_f	$c_{pe,10}$	w_g	$c_{pe,10}$	w_h	$c_{pe,10}$	w_i
70	-1,1	-0,84	-1,2	-0,90	-0,8	-0,64	-0,5	-0,45
60	-1,1	-0,84	-1,2	-0,90	-0,8	-0,64	-0,5	-0,45
50	-1,1	-0,84	-1,4	-1,03	-0,8	-0,64	-0,5	-0,45
40	-1,1	-0,84	-1,4	-1,03	-0,9	-0,71	-0,5	-0,45
30	-1,1	-0,84	-1,4	-1,03	-0,8	-0,64	-0,5	-0,45
20	-1,35	-1,00	-1,3	-0,96	-0,7	-0,58	-0,5	-0,45
10	-1,5	-1,09	-1,3	-0,96	-0,65	-0,55	-0,55	-0,48
0	-1,85	-1,32	-1,2	-0,90	-0,7	-0,58	-0,6	-0,51

Tab. 1 – Hodnoty tlaků a sání větru pro různé sklony střechy pro $c_{pi} = 0,2$

Sklon střechy [°]	Oblast F		Oblast G		Oblast H		Oblast I	
	$c_{pe,10}$	w_f	$c_{pe,10}$	w_g	$c_{pe,10}$	w_h	$c_{pe,10}$	w_i
70	-1,1	-0,51	-1,2	-0,58	-0,8	-0,32	-0,5	-0,13
60	-1,1	-0,51	-1,2	-0,58	-0,8	-0,32	-0,5	-0,13
50	-1,1	-0,51	-1,4	-0,71	-0,8	-0,32	-0,5	-0,13
40	-1,1	-0,51	-1,4	-0,71	-0,9	-0,39	-0,5	-0,13
30	-1,1	-0,51	-1,4	-0,71	-0,8	-0,32	-0,5	-0,13
20	-1,35	-0,67	-1,3	-0,64	-0,7	-0,26	-0,5	-0,13
10	-1,5	-0,77	-1,3	-0,64	-0,65	-0,22	-0,55	-0,16
0	-1,85	-1,00	-1,2	-0,58	-0,7	-0,26	-0,6	-0,19

Tab. 2 – Hodnoty tlaků a sání větru pro různé sklony střechy pro $c_{pi} = -0,3$



Obr. 32 – Zatěžovací oblasti pro štítové stěny – podélný vítr [3]

Pro $c_{pi} = 0,2$

$$w_D = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (0,71 - 0,2) = 0,33 \text{ kNm}^{-2}$$

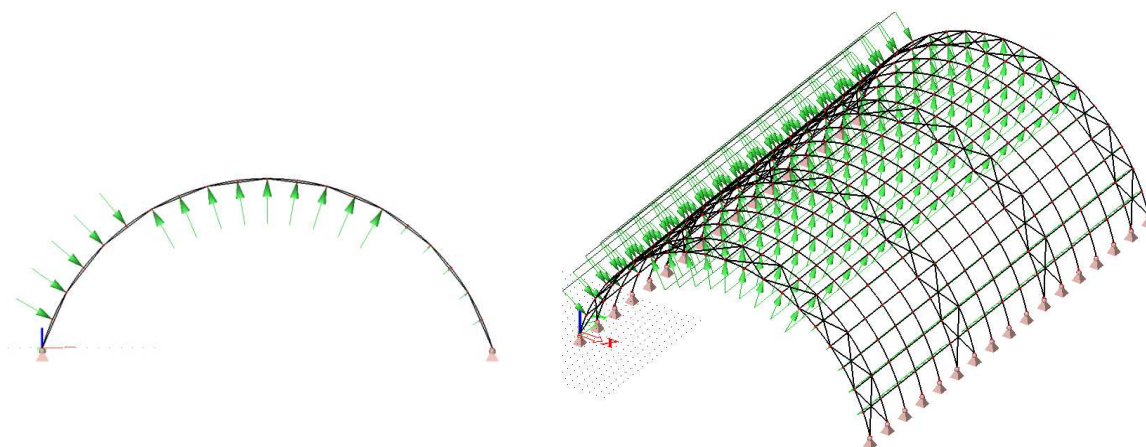
$$w_E = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-0,36 - 0,2) = -0,36 \text{ kNm}^{-2}$$

Pro $c_{pi} = -0,3$

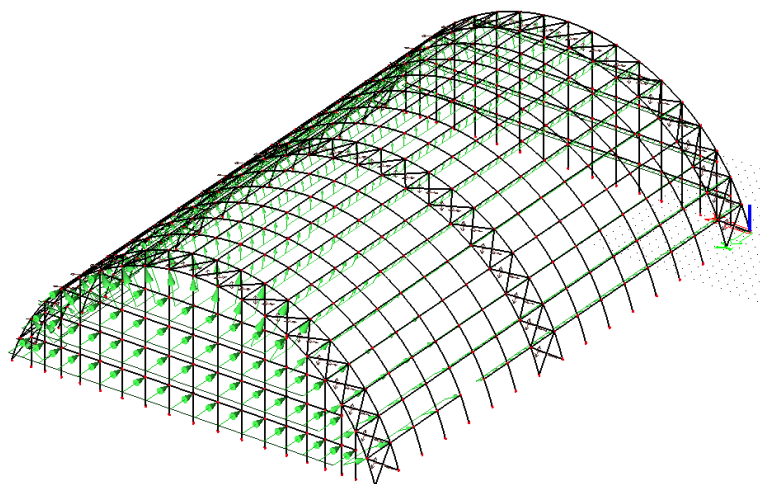
$$w_D = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (0,71 + 0,3) = 0,65 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_E = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) = 0,64 \cdot (-0,36 + 0,3) = -0,04 \text{ kNm}^{-2}$$

Dalším krokem bylo jednotlivé plošné zatížení od tlaků a sání rozpočítat na jednotlivé vaznice a paždíky štítových stěn pomocí jejich zatěžovacích šířek. Bylo postupováno stejným způsobem jako u zatížení sněhem pro oba výpočtové modely.



Obr. 33 – Ilustrace zadávání zatížení větrem na jednotlivé vaznice



Obr. 34 – Ilustrace zadávání zatížení větrem na paždíky štítové stěny

5.3 Kombinace zatěžovacích stavů

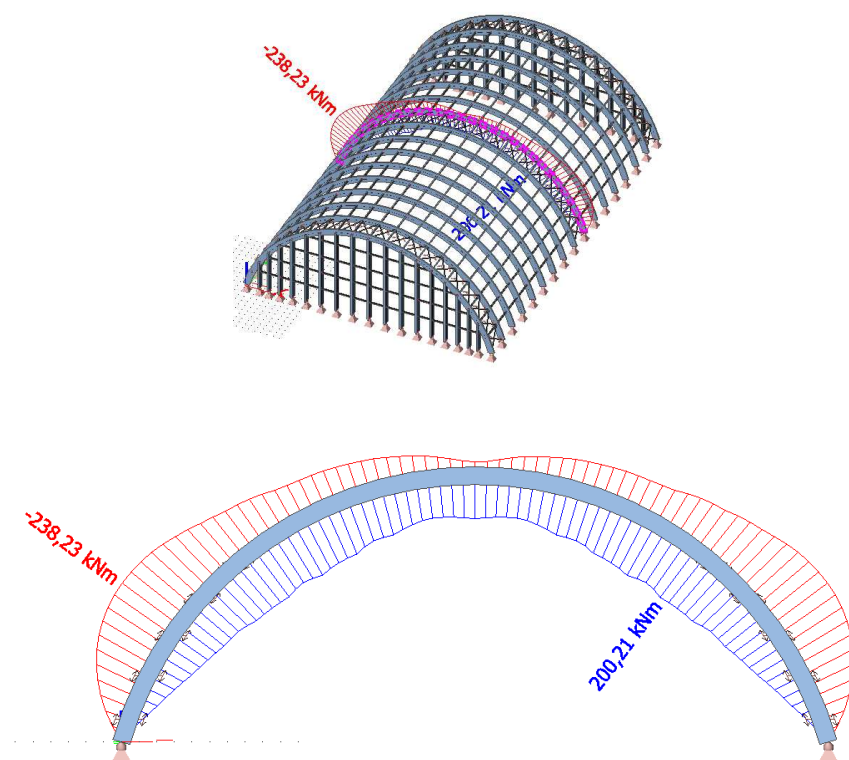
Celkem bylo vytvořeno 14 zatěžovacích stavů, včetně vlastní tíhy konstrukce. Pro jednotlivé zatěžovací stavy byly vytvořeny příslušné skupiny zatížení ve výpočtovém programu tak, aby se stejné typy proměnných zatížení spolu nekombinovaly. Vzhledem k tomu, že se v modelu vyskytují prvky, kde mohou vznikat pouze tahové normálové síly, bylo nutno vytvořit nelineární kombinace a náležitě v těchto prvcích vyloučit tlak. Nejjednodušším způsobem jak tyto kombinace vytvořit bylo pomocí lineárních rozložených kombinací a jejich následným převedením na nelineární kombinace. Tímto způsobem se docílí použití správných součinitelů jednotlivých zatížení v daných kombinacích.

Byly vytvořeny kombinace pro posouzení nosných prvků MSÚ a MSP. Tyto kombinace splňují všechny požadavky normy ČSN EN.

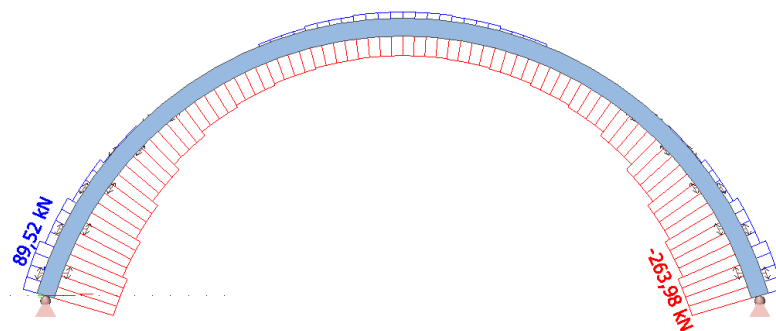
$$\begin{aligned} \text{MSÚ} \quad & \Sigma_{j \leq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \\ \text{MSP} \quad & \Sigma_{j \leq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + Q_{k,1} + \Sigma_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \end{aligned}$$

5.4 Dvojklobový oblouk - vnitřní síly

Dalším krokem z hlediska statického návrhu zastřešení haly bylo vyhodnocování jednotlivých vnitřních sil na hlavní obloukové nosné konstrukci. Zejména ohybových momentů M_y a normálových sil N na jednotlivých výpočtových modelech. Vzhledem k poměrně malé osové vzdálenosti vazníků, vznikají tomu úměrné vnitřní síly a můžou se volit menší dimenze prvků na obou typech hlavních nosných prvků.



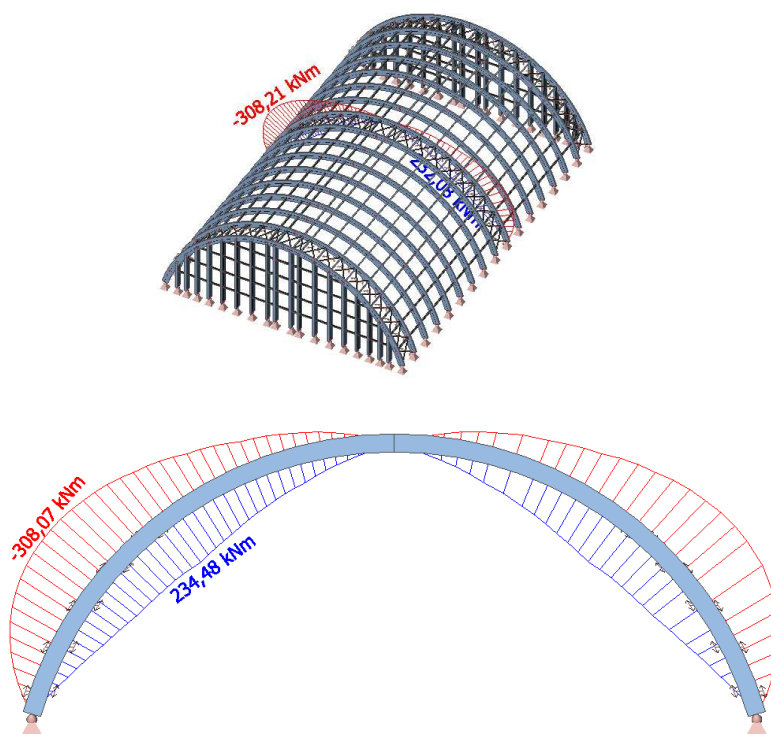
Obr. 35 – Ohybové momenty M_y – obálka kombinací pro MSÚ



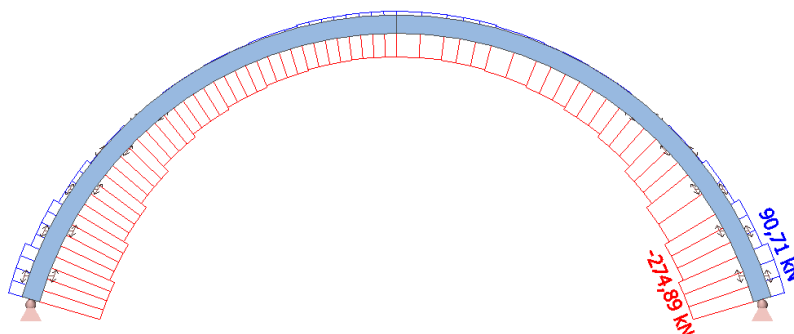
Obr. 36 – Normálové síly N – obálka kombinací pro MSÚ

5.5 Trojkloubový oblouk - vnitřní síly

Výsledné vnitřní síly pro mezní stav únosnosti na trojkloubové konstrukci zastřešení splňují prvotní předpoklady. V místě vrcholového kloubu nevzniká ohybový moment a na konstrukci vznikají z hlediska statického působení vnějších sil, větší vnitřní síly a deformace, než na dvojkloubovém oblouku. Tato skutečnost jasně naznačuje, že pro dvojkloubový konstrukční systém budeme potřebovat podstatně menší dimenze pro hlavní nosné prvky. To ovšem platí pouze při statickém působení vnějšího zatížení. Z hlediska zatížení deformačního (jako je např. pokles podpor a zatížení změnou teploty) má trojkloubový oblouk výhodu, protože se jedná o staticky určitou konstrukci. Deformační typy zatížení by na konstrukci neměly způsobit změnu vnitřních sil.



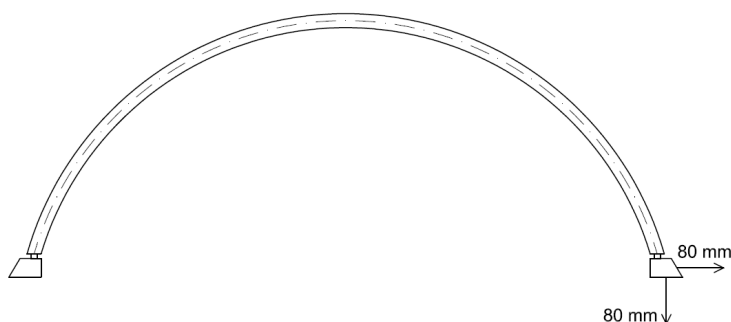
Obr. 37 – Ohybové momenty M_y – obálka kombinací pro MSÚ



Obr. 38 – Normálové síly N – obálka kombinací pro MSÚ

5.6 Deformační zatížení a vliv na vnitřní síly

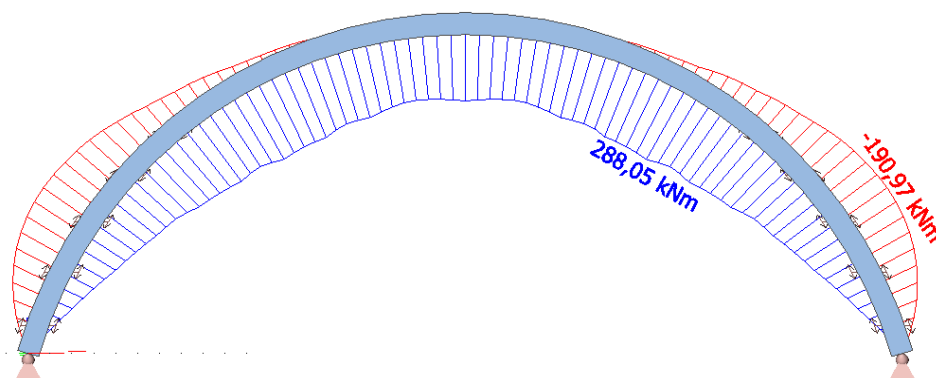
Tato kapitola byla zpracována pro představu a následné zhodnocení jaký vliv má deformační zatížení na změnu vnitřních sil pro oba typy hlavních nosných prvků. Jedná se o pokles jedné linie podpor ve vertikálním i horizontálním směru o 80 mm. Tato hodnota byla volena úměrně s velikostí rozpětí hlavních nosných prvků, tak aby bylo možno demonstrovat následné změny vnitřních sil.



Obr. 39 – Ilustrace deformačního zatížení

Varianta A – dvojklobový oblouk

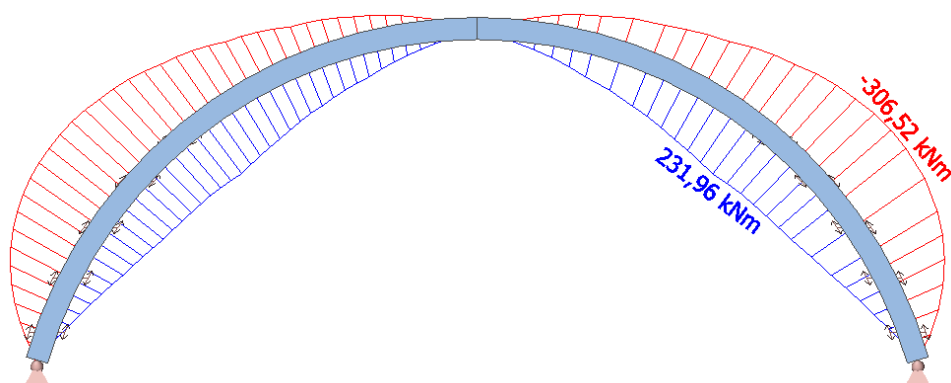
Hlavním předpokladem u varianty A, bylo výrazné zvětšení vnitřních sil při působení deformačního zatížení. Tento předpoklad byl splněn a konstrukce vykazovala mnohem větší hodnoty ohybových momentů M_y . Maximální hodnota kladného ohybového momentu M_y vzrostla zhruba o 45% původní hodnoty a přiblížila se maximálním hodnotám vnitřních sil na trojklobovém oblouku. To je také hlavní hodnota při volbě dimenzí nosných prvků zastřešení.



Obr. 40 - Ohybový moment M_y - obálka kombinací MSÚ + pokles podpor

Varianta B – trojkloubový oblouk

Hlavním předpokladem u *varianty B* bylo nezměnění vnitřních sil při působení deformačního zatížení. Tento předpoklad byl také splněn a konstrukce nepodléhá těmto změnám. Změny vnitřních sil na trojkloubovém oblouku jsou takřka nulové.



Obr. 41 - Ohybový moment M_y - obálka kombinací MSÚ + pokles podpor

Vzhledem k tomu, že se sportovní hala nachází v lokalitě s velkou mírou poddolovaného území, tak se tato situace nemůže při volbě statického systému zanedbat. V těchto lokalitách dochází k velkým nerovnoměrným poklesům půdy. Dvojklobový obloukový systém bude na tyto změny velmi náchylný. Bylo by potřeba dbát na efektivní výstavbu základových konstrukcí – např. možnost rektifikace nosných prvků u podpor.

5.7 Návrh hlavních nosných prvků varianty A

Základní návrh hlavních nosných prvků pro MSÚ a MSP byl proveden pro obě varianty konstrukce zastřešení. Podrobné posudky všech spojů, prvků zavětrování a výkresová dokumentace byly zpracovány také pro obě varianty. V závěru proběhlo zhodnocení obou variant z hlediska více aspektů.

5.7.1 Vaznice

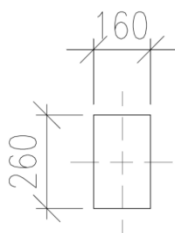
Vaznice jsou vyrobeny z rostlého dřeva třídy C24. Jsou připojeny kloubově pomocí ocelových spojovacích prostředků k hlavním nosným prvkům. Staticky tudíž působí v konstrukci jako prosté nosníky.

Pro střešní vaznice byl volen průřez o rozměrech 160 x 260 mm. Délka všech vaznic je 3,6 m. Roznášecí šířka a osová vzdálenost vaznic je 2,68 m.

Rozměry průřezu:

$$b = 0,16 \text{ m}$$

$$h = 0,26 \text{ m}$$



Statické schéma:



Průřezové charakteristiky:

$$A = b \cdot h = 0,16 \cdot 0,26 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,16 \cdot 0,26^2 = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,16 \cdot 0,26^3 = 2,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,34 \cdot 10^{-4}}{0,04}} = 7,51 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,16^2 \cdot 0,26 = 1,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,16^3 \cdot 0,26 = 8,87 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{8,87 \cdot 10^{-5}}{0,04}} = 4,62 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

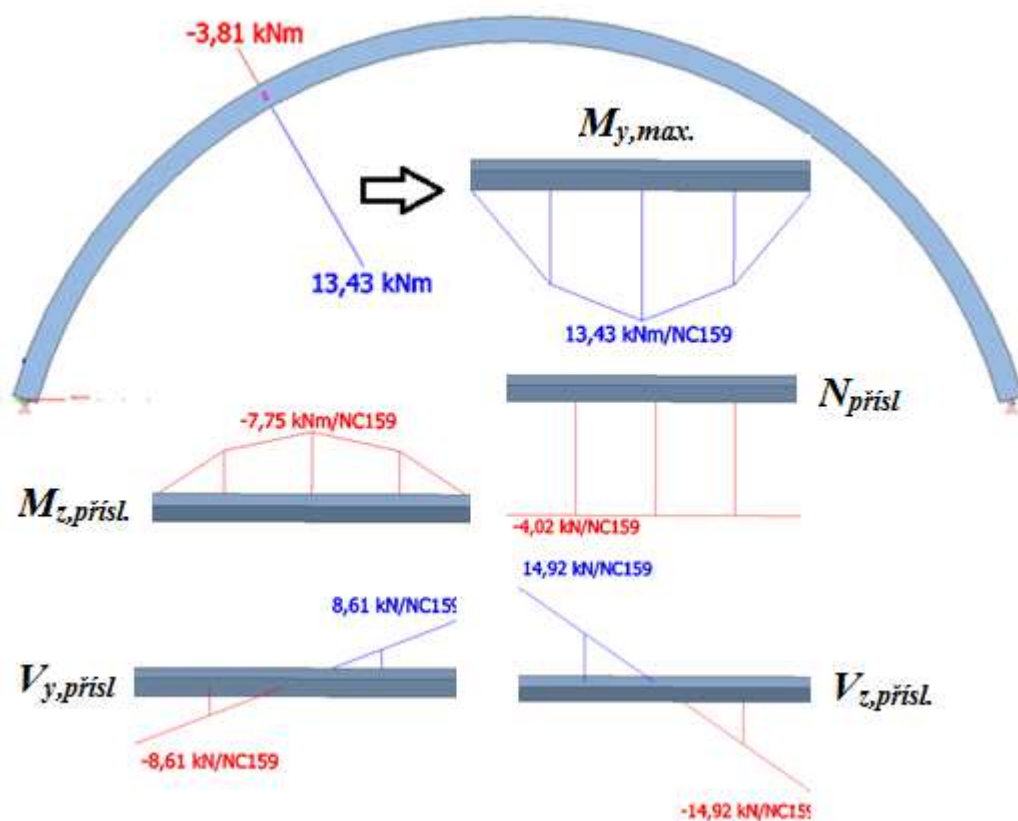
Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující kombinace pro MSÚ - NC159, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

Vl. tíha · 1,35 + *ost. stálé* · 1,35 + *sníh navátý vlevo* · 1,5

Návrhový ohybový moment k ose y: $M_{y,d} = 13,43 \text{ kNm}$

Návrhový ohybový moment k ose z: $M_{z,d} = -7,75 \text{ kNm}$



Obr. 42 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $M_{z,přisl}$, $N_{přisl}$, $V_{y,přisl}$, $V_{z,přisl}$.

Návrhové napětí za ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{13,44}{1,8 \cdot 10^{-3}} = 7,45 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí za ohybu k ose z:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{7,75}{1,11 \cdot 10^{-3}} = 6,99 \text{ MPa}$$

Návrhové normálové napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_D}{A} = \frac{4,02}{0,04} = 0,1 \text{ MPa}$$

Tvarový součinitel pro obdélníkový průřez:

$$k_m = 0,7$$

Posouzení vaznice na dvouosý ohyb s vlivem osového tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,1}{11,3} \right)^2 + \frac{7,45}{12,92} + 0,7 \cdot \frac{6,99}{12,92} \leq 1$$

$$0,96 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,1}{11,3} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{7,45}{12,92} + \frac{6,99}{12,92} \leq 1$$

$$0,94 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vaznice na ohyb s vlivem klopení a tlakové síly:

Vaznice není zajištěna proti ztrátě torzní a příčné stability, proto musí být posouzena na ohybové namáhání s vlivem klopení.

Štíhlostní poměry:

$$\lambda_z = \frac{L}{i_z} = \frac{3,60}{4,62 \cdot 10^{-2}} = 77,94$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{77,94}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,32$$

Součinitel vzpěrnosti:

Součinitel imperfekce pro rostlé dřevo:

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,32 - 0,3) + 1,32^2]$$

$$k_z = 1,48$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{1,48 + \sqrt{1,48^2 - 1,32^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,47$$

Kritické napětí v ohybu:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 3,6 = 3,24 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,16^2}{0,26 \cdot 3,24} \cdot 7400$$

$$\sigma_{m,crit} = 175,41 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{175,41}} = 0,37$$

Bylo nutno určit součinitel k_{crit} , který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } \lambda_{rel,m} \geq 1,4 \end{cases}$$

$$k_{crit} = 1$$

Posouzení vaznice na ohyb s vlivem klopení z roviny nosníku:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{7,45}{1,0 \cdot 12,93} \leq 1,0$$

$$0,58 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vaznice na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{7,45}{1,0 \cdot 12,93} \right)^2 + \frac{0,1}{0,47 \cdot 11,3} \leq 1,0$$

$$0,35 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vaznice na smyk:

Návrhová posouvající síla: $V_{y,d} = 9,18 \text{ kN}$

Návrhová posouvající síla: $V_{z,d} = 14,92 \text{ kN}$

Účinná šířka prvku s vlivem trhlin:

$k_{cr} = 0,67$ - pro rostlé dřevo

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,16 = 0,11 \text{ m}$$

Návrhové napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{y,d}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{9,18 \cdot 10^3}{0,11 \cdot 0,26}$$

$$\tau_{v,d,y} = 0,49 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{14,92 \cdot 10^3}{0,11 \cdot 0,26} = 0,80 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{v,d,y}^2 + \tau_{v,d,z}^2} = \sqrt{0,49^2 + 0,80^2} = 0,94$$

Posouzení napjatosti ve smyku za ohybu:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,94}{1,35} \leq 1$$

$$0,70 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vaznice na MSP – průhyb:

Do výpočtu okamžitého průhybu w_{inst} vaznice vstupují stejné zatěžovací stavy jako pro určující kombinaci pro MSÚ. Tyto stavy se však uvažují ve výpočtech v charakteristických hodnotách. Z vypočteného okamžitého průhybu w_{inst} se následně spočítají hodnoty konečného průhybu w_{fin} pomocí platných vztahů normy ČSN EN 1995-1-1.

Okamžitý průhyb od vlastní tíhy:

Objemová hmotnost rostlého dřeva:

$$\rho_k = 350 \text{ kgm}^{-3}$$

$$g_{0k} = A \cdot \rho_k = 0,04 \cdot 350 = 0,15 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w_{inst,g_{0k}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{0k} \cdot l^4}{E_{mean} I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,15 \cdot 10^3 \cdot 3,6^4}{11000 \cdot 10^6 \cdot 2,34 \cdot 10^{-4}}$$

$$w_{inst,g_{0k}} = \mathbf{0,12 \text{ mm}}$$

Okamžitý průhyb od ostatního stálého zatížení:

$$g_{1k} = 0,86 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w_{inst,g_{1k}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{1k} \cdot l^4}{E_{mean} I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,86 \cdot 10^3 \cdot 3,6^4}{11000 \cdot 10^6 \cdot 2,34 \cdot 10^{-4}}$$

$$w_{inst,g_{1k}} = \mathbf{0,73 \text{ mm}}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení (sníh navátý vlevo):

$$q_k = 5,48 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w_{inst,q_k} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot l^4}{E_{mean} I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{5,48 \cdot 10^3 \cdot 3,6^4}{11000 \cdot 10^6 \cdot 2,34 \cdot 10^{-4}}$$

$$w_{inst,q_k} = 4,63 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb:

$$w_{inst} = w_{inst,g_{0k}} + w_{inst,g_{1k}} + w_{inst,q_k} = 0,124 + 0,73 + 4,63$$

$$w_{inst} = 5,49 \text{ mm}$$

Posouzení okamžitého průhybu:

$$w_{inst} \leq \frac{L}{300}$$

$$5,49 \text{ mm} \leq \frac{3600}{300} = 12 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet konečného průhybu:

$$w_{fin} = w_{inst,g_{0k}} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,g_{1k}} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,q_k} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin} = 0,12 \cdot (1 + 2,0) + 0,73 \cdot (1 + 2,0) + 4,63 \cdot (1 + 0,0 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin} = 0,12 \cdot (3) + 0,73 \cdot (3) + 4,63 \cdot (1)$$

$$w_{fin} = 7,18 \text{ mm}$$

$$w_{fin} \leq \frac{L}{250}$$

$$7,18 \leq \frac{3600}{250} = 14,4 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Vaznice vyhovuje na mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti. Na stranu bezpečnou byl tento průřez použit pro všechny vaznice v konstrukci zastřešení sportovní haly.

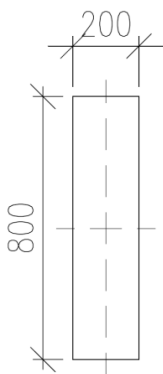
5.7.2 Hlavní vazník

Hlavními nosnými prvky zastřešení sportovní haly jsou dvojkloubové oblouky klasického obdélníkového průřezu 200 x 800 mm. Oblouky jsou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL28h. Rozpětí nosných prvků činí 40 m a jejich vzepětí je 15 m. Poloměr zakřivení oblouku je 20,83 m a délka činí 53,63 m – vztaženo k ose prvku. Vazníky jsou kladeny v osové vzdálenosti 3,6 m. Podepření jednotlivých konců oblouků je provedeno pomocí ocelových čepů umístěných na železobetonových patkách. Tento způsob podepření zamezuje pohybu nosného prvku ve všech směrech, avšak umožňuje pootočení. Jedná se o 1x staticky neurčitou konstrukci. Vzhledem k velké délce oblouku a následné přepravě musí být vazník rozdělen na čtyři části a na staveništi spojen pomocí montážních spojů. Stabilitu nosných prvků proti vybočení z roviny zajišťují vaznice, které jsou kladeny mezi všechny vazníky.

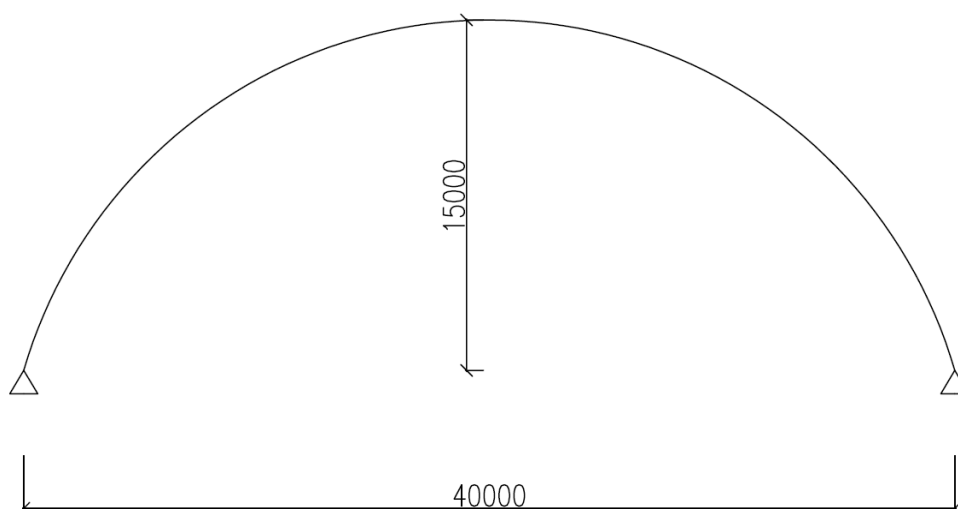
Rozměry průřezu:

$$b = 0,20 \text{ m}$$

$$h = 0,800 \text{ m}$$



Statické schéma:



Průřezové charakteristiky:

$$A = b \cdot h = 0,2 \cdot 0,8 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 0,8^2 = 2,13 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 0,8^3 = 8,53 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,53 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,23 \text{ m}$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,2^2 \cdot 0,8 = 5,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,2^3 \cdot 0,8 = 5,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{5,33 \cdot 10^{-4}}{0,16}} = 5,77 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Návrhové vnitřní síly:

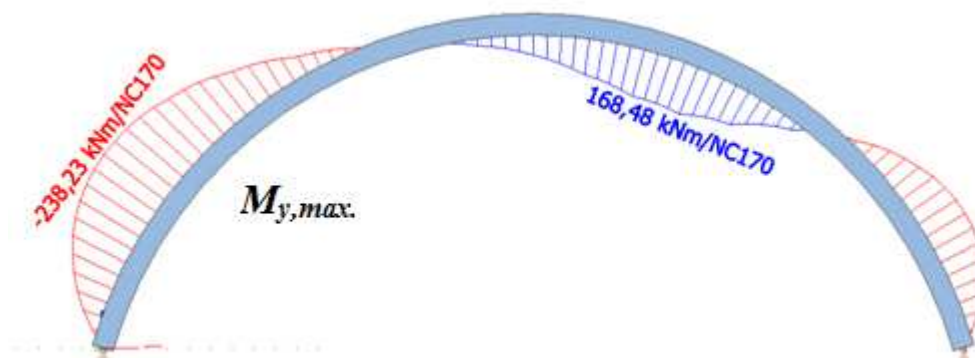
Rozhodující kombinace pro MSÚ a MSP – NC170, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

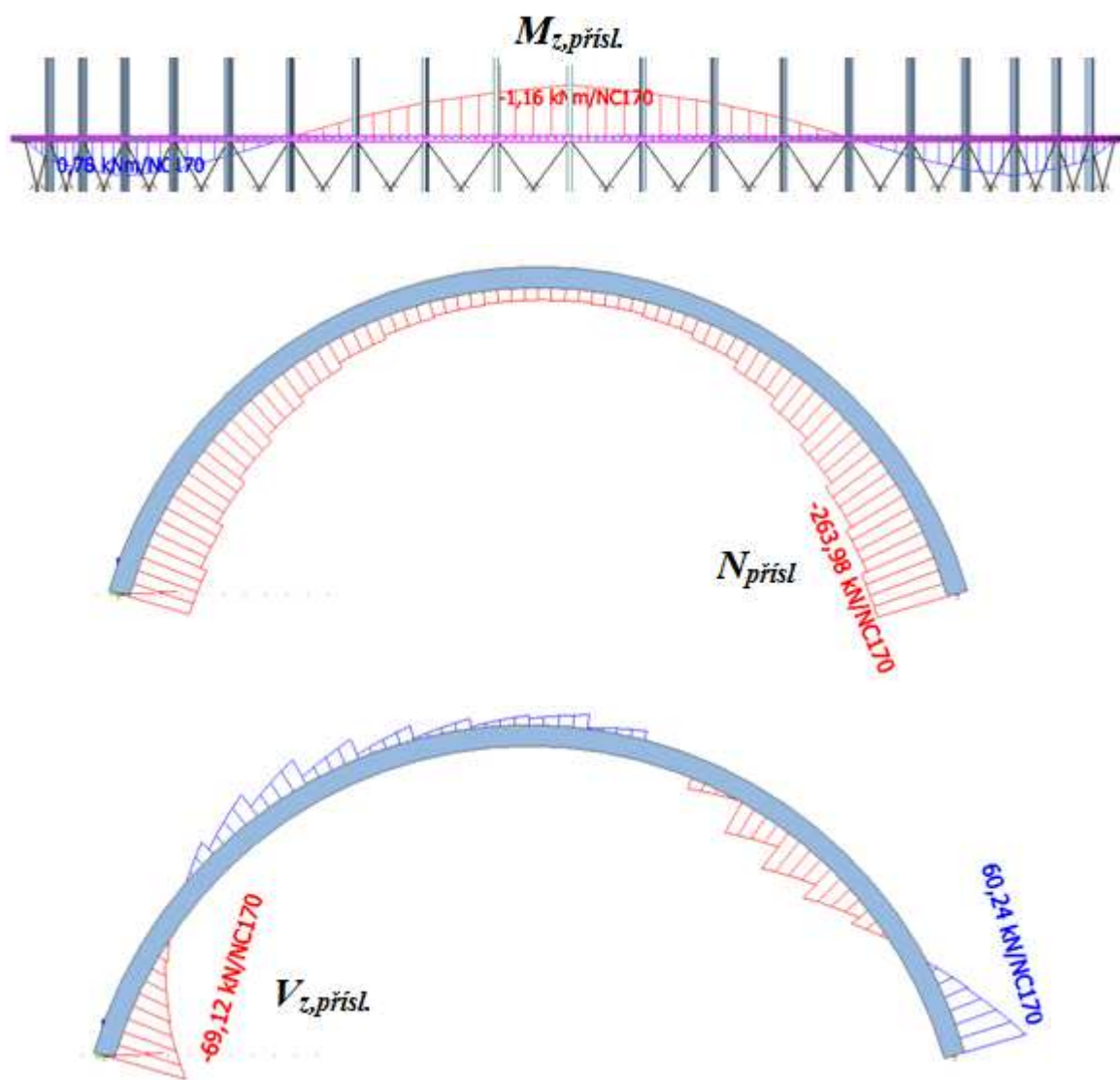
Vl. tíha · 1,35 + *ost. stálé* · 1,35 + *sníh navátý vpravo* · 1,5 + *vítr podélný* · 0,9

Návrhový ohybový moment k ose y: $M_{y,d} = -238,23 \text{ kNm}$

Příslušná normálová síla: $N_{přísl.} = -263,98 \text{ kN}$

Příslušná posouvající síla: $V_{přísl.} = -69,12 \text{ kN}$





Obr. 43 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $M_{z,prisl}$, N_{prisl} , $V_{z,prisl}$.

Výsledná posouvající síla $V_{y,d}$ je zanedbatelná ve všech kombinacích na všech vaznících, a proto s touto hodnotou není dále počítáno.

Návrhové napětí za ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{238,23}{2,13 \cdot 10^{-2}} = 11,17 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí za ohybu k ose z:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1,16}{5,33 \cdot 10^{-3}} = 0,22 \text{ MPa}$$

Návrhové normálové napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_D}{A} = \frac{263,98}{0,16} = 1,65 \text{ MPa}$$

Tvarový součinitel pro obdélníkový průřez:

$$k_m = 0,7$$

Posouzení vazníku na dvouosý ohyb s vlivem osového tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{1,65}{14,84} \right)^2 + \frac{11,17}{15,68} + 0,7 \cdot \frac{0,22}{15,68} \leq 1$$

$$0,72 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left(\frac{1,65}{14,84} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{11,17}{15,68} + \frac{0,22}{15,68} \leq 1$$

$$0,51 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku na ohyb s vlivem klopení a tlakové síly:

Štíhlostní poměry:

$L = 26,81 \text{ m}$ - polovina délky oblouku

K ose větší tuhosti není vazníku bráněno proti vybočení a je tedy nutné brát v úvahu celou vzpěrnou délku prutu.

$$\beta = 1,25$$

$$L_{cr,y} = 26,81 \cdot \beta = 26,81 \cdot 1,25 = 33,51 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{33,51}{2,31 \cdot 10^{-1}} = 145,06$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{145,06}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{102000}} = 2,35$$

K ose menší tuhosti je nosníku bráněno vybočení pomocí vaznic, které jsou kladeny každých 2,68 m po celé délce vazníku.

$$L_{cr,z} = 2,68 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,68}{5,77 \cdot 10^{-2}} = 46,42$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{46,42}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{102000}} = 0,75$$

Součinitele vzpěrnosti:

Součinitel imperfekce pro lepené lamelové dřevo:

$$\beta_c = 0,1$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (2,35 - 0,3) + 2,35^2]$$

$$k_y = 3,37$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{3,37 + \sqrt{3,37^2 - 2,35^2}}$$

$$\mathbf{k_{c,y} = 0,17}$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,75 - 0,3) + 0,75^2]$$

$$k_z = 0,81$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{0,81 + \sqrt{0,81^2 - 0,75^2}}$$

$$\mathbf{k_{c,z} = 0,91}$$

Vybočení v rovině oblouku je rozhodující - $\mathbf{k_{c,y} = 0,17}$

Posouzení vazníku na vzpěrný tlak:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,65}{0,17 \cdot 14,84} \leq 1$$

$$0,65 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Kritické napětí v ohybu:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 2,68 = 2,42 \text{ m} \quad \text{-účinná délka zabráňující klopení vazníku}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,2^2}{0,8 \cdot 2,42} \cdot 10200$$

$$\sigma_{m,crit} = 164,93 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{175,41}} = 0,37$$

Bylo nutno určit součinitel k_{crit} , který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } \lambda_{rel,m} \geq 1,4 \end{cases}$$

$$k_{crit} = 1$$

Posouzení vazníku na ohyb s vlivem klopení z jeho roviny:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{11,17}{1,0 \cdot 15,68} \leq 1,0$$

$$0,72 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{11,17}{1,0 \cdot 15,68} \right)^2 + \frac{1,65}{0,91 \cdot 14,84} \leq 1,0$$

$$0,63 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku na smyk:

Návrhová posouvající síla: $V_{z,d} = -69,12 \text{ kN}$

Účinná šířka prvku s vlivem trhlin:

$k_{cr} = 0,67$ - pro prvky z lepeného lamelového dřeva

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,2 = 0,13 \text{ m}$$

Návrhové napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{69,12 \cdot 10^3}{0,13 \cdot 0,8} = 0,97 \text{ MPa}$$

Posouzení napjatosti ve smyku za ohybu:

$$\frac{\tau_{v,d,z}}{f_{v,d}} \leq 1$$

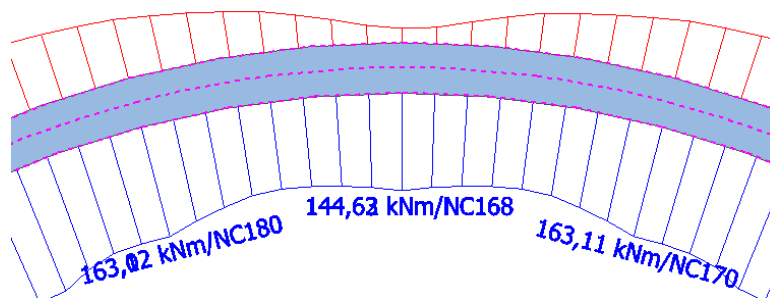
$$\frac{0,99}{1,79} \leq 1$$

$$0,54 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Nejkritičtější místo konstrukce je ve vrcholové části vazníku. Bylo proto nutné kromě základních posudků pro toto místo spočítat napětí pro různá namáhání podle platných vztahů ČSN EN 1995. Tyto výsledná napětí ve vrcholu oblouku byla nakonec posouzena.

Posudek na prostý ohyb ve vrcholové části vazníku:**Návrhové vnitřní síly:**

Rozhodující kombinace pro posouzení – NC168. V této kombinaci zatěžovacích stavů vzniká největší ohybový moment ve vrcholové oblasti vazníku.



Obr. 44 – Ohybový moment M_y ve vrcholové části vazníku – obálka kombinací MSÚ

Kombinace NC168:

$Vl. tíha \cdot 1,35 + ost. stálé \cdot 1,35 + sníh nenavátý \cdot 1,5 + vítr podélný \cdot 0,9$

Návrhový ohybový moment k ose y ve vrcholu vazníku: $M_{ap,d} = 144,62 \text{ kNm}$

Příslušná posouvající síla: $V_{z,přísl.} = 16,01 \text{ kN}$

Součinitel k_l :

$h_{ap} = 0,8 \text{ m}$ - výška nosníku v zakřivené části

$\alpha_{ap} = 0^\circ$ - úhel sklonu náběhu ve středu zakřivené oblasti

$r = 20,83$ - poloměr oblouku k jeho střednici

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0$$

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot \left(\frac{0,8}{20,83}\right)^2 + 0,6 \cdot \left(\frac{0,8}{20,83}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_l = 1,01$$

Napětí v ohybu v zakřivené části vazníku:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,01 \cdot \frac{6 \cdot 144,62}{0,2 \cdot 0,8^2} = 6,88 \text{ MPa}$$

Součinitel k_r :

$t = 30 \text{ mm}$ - standardní tloušťka lamel

$$r_{in} = r - 0,5 \cdot h_{ap} = 20,83 - 0,5 \cdot 0,8 = 20,43 \text{ m}$$

Určení součinitele k_r , který zohledňuje snížení pevnosti lamel způsobené během výroby podle následující podmínky:

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{20,43}{0,03} = 681 \geq 540 \Rightarrow k_r = 1$$

Posouzení napětí v ohybu ve vrcholové části:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{6,88}{1 \cdot 15,68} \leq 1$$

$$0,44 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku na tah kolmo na vlákna v místě zakřivení:

Součinitel k_p :

$h_{ap} = 0,8 \text{ m}$ - výška nosníku v zakřivené části

$\alpha_{ap} = 0^\circ$ - úhel sklonu náběhu ve středu zakřivené oblasti

$r = 20,83$ - poloměr oblouku k jeho střednici

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) - 4 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{0,8}{20,83}\right) + 0 \cdot \left(\frac{0,8}{20,83}\right)^2$$

$$k_p = 0,01$$

$k_{dis} = 1,4$ - pro zakřivené nosníky

Součinitel k_{vol} :

$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ - referenční objem

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap}) = \frac{45 \cdot 3,14}{180} \cdot 0,2 \cdot (0,8^2 + 2 \cdot 20,43 \cdot 0,8)$$

$$V = 5,24 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{5,24}\right)^{0,2}$$

$$k_{vol} = 0,29$$

Napětí v tahu kolmo na vlákna vazníku:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,01 \cdot \frac{6 \cdot 144,62}{0,2 \cdot 0,8^2}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,07 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí v tahu kolmo na vlákna vazníku:

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,07}{1,4 \cdot 0,29 \cdot 0,25} \leq 1$$

$$0,65 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení napětí v tahu kolmo na vlákna vazníku v kombinaci se smykem:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z.přisl.}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{16,01}{0,16}$$

$$\tau_{v,d} = 0,15 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} + \frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,07}{1,4 \cdot 0,29 \cdot 0,25} + \frac{0,15}{1,79} \leq 1$$

$$0,77 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku v tlaku kolmo na vlákna od normálových sil vaznice:

Maximální tlaková síla působící kolmo na vlákna vazníku:

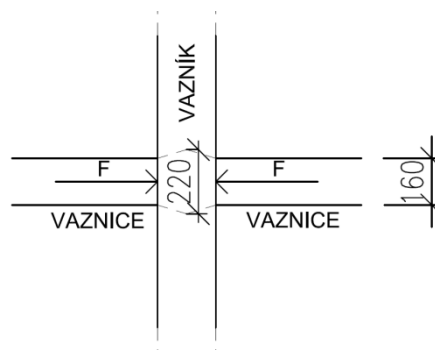
$$N_{ed} = 44,02 \text{ kN} - \text{krajní vaznice}$$

Efektivní dotyková plocha v tlaku kolmo na vlákna:

$$b_{ef} = (b + 2 \cdot t_l) = (0,16 + 2 \cdot 0,03) = 0,22 \text{ m}$$

$$h_{ef} = h = 0,26 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h_{ef} = 0,22 \cdot 0,26 = 0,06 \text{ m}^2$$



V konkrétním případě působí tlaková síla kolmo na prvek z obou jeho protilehlých stran a poměr $\frac{h}{b} \geq 2,5$. Součinitel $k_{c,90}$ se spočte podle následujícího vztahu:

$$k_{c,90} = \frac{b_{ef}}{b_{vaznice}} = \frac{0,22}{0,16} = 1,38$$

Napětí v tlaku kolmo na vlákna vazníku:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_{ed}}{A_{ef}} = \frac{44,02}{0,06} = 0,77 \text{ MPa}$$

Posouzení vazníku v tlaku kolmo na vlákna vazníku:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,77}{1,38 \cdot 1,68} \leq 1$$

$$0,33 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Mezní stav použitelnosti – průhyby vazníku:

Byly zjištěny průhyby pro každou hlavní osu vazníku. Hodnoty byly zjištěny pomocí výpočtového programu pro kombinaci MSP. Z vypočteného okamžitého průhybu w_{inst} se následně spočítají hodnoty konečného průhybu w_{fin} pomocí platných vztahů normy ČSN EN 1995-1-1.

Kombinace NC314 pro max u_z :

$Vl. tíha \cdot 1,0 + ost. stálé \cdot 1,0 + sníh navátý vlevo \cdot 1,0 + vítr příčný \cdot 0,6$

$u_z = 94,2 \text{ mm}$ -mezilehlý vazník

Kombinace NC351 pro max u_y :

$Vl. tíha \cdot 1,0 + ost. stálé \cdot 1,0 + sníh nenavátý \cdot 0,5 + vítr podélný \cdot 1,0$

$u_y = 74,5 \text{ mm}$ -krajní vazník

Kombinace NC314 pro max u_x :

$Vl. tíha \cdot 1,0 + ost. stálé \cdot 1,0 + sníh navátý vlevo \cdot 1,0 + vítr příčný \cdot 0,6$

$u_x = 73,9 \text{ mm}$ -mezilehlý vazník

Okamžitý průhyb u_z od stálého zatížení:

$w_{inst,g,z} = 30,7 \text{ mm}$

Okamžitý průhyb u_z od proměnných zatížení (sníh navátý vlevo a vítr příčný):

$w_{inst,q_k,z} = 63,5 \text{ mm}$

Ve směru x a y , se podílí na okamžitém průhybu pouze proměnná zatížení. Složky průhybů od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení jsou zanedbatelné.

Posouzení okamžitého průhybu $w_{inst,z}$:

$$w_{inst,z} \leq \frac{L}{300}$$

$$94,2 \text{ mm} \leq \frac{40000}{300} = 133,33 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení okamžitého průhybu $w_{inst,y}$:

$$w_{inst,y} \leq \frac{L}{300}$$

$$74,5 \text{ mm} \leq \frac{40000}{300} = 133,33 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení okamžitého průhybu $w_{inst,x}$:

$$w_{inst,x} \leq \frac{L}{300}$$

$$73,9 \text{ mm} \leq \frac{40000}{300} = 133,33 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet a posouzení konečného průhybu $w_{fin,z}$:

$$w_{fin,z} = w_{inst,g_k} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,q_k} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,z} = 30,7 \cdot (1 + 2,0) + 63,5 \cdot (1 + 0,0 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,z} = 30,7 \cdot (3) + 63,5 \cdot (1)$$

$$w_{fin,z} = 155,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin,z} \leq \frac{L}{250}$$

$$155,6 \leq \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet a posouzení konečného průhybu $w_{fin,y}$:

$$w_{fin,y} = w_{inst,q_k} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,y} = 74,5 \cdot (1 + 0,0 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,y} = 74,5 \cdot (1)$$

$$w_{fin,y} = 74,5 \text{ mm}$$

$$w_{fin,y} \leq \frac{L}{250}$$

$$74,5 \leq \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet a posouzení konečného průhybu $w_{fin,x}$:

$$w_{fin,x} = w_{inst,q_k} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,x} = 73,9 \cdot (1 + 0,0 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,x} = 73,9 \cdot (1)$$

$$w_{fin,x} = 73,9 \text{ mm}$$

$$w_{fin,x} \leq \frac{L}{250}$$

$$73,9 \leq \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Vazník vyhovuje na mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti. Tento průřez byl použit pro všechny vazníky v konstrukci zastřešení sportovní haly.

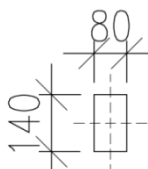
5.7.3 Paždík

Materiálem pro výrobu paždíků štítových stěn je rostlé dřevo třídy pevnosti C24, stejně jako u prvků pro vaznice. Dominantním zatížením pro paždíky bylo zatížení příčným a podélným větrem. Rozměry průřezu jsou 80 x 140 mm. Jednotlivé paždíky mají různé délky a budou se řezat přímo na staveništi do požadovaných rozměrů. Jsou uchyceny ke sloupkům pomocí ocelových prostředků. Uložení paždíku mezi sloupky je uvažováno jako kloubové a tudíž působí v konstrukci jako prosté nosníky. Paždíky významně pomáhají sloupkům proti vybočení z jejich roviny. Jsou kladeny ve vertikálních osových vzdálenostech 3 m. Paždíky jsou kladeny v konstrukci delší stranou průřezu vodorovně s podlahou.

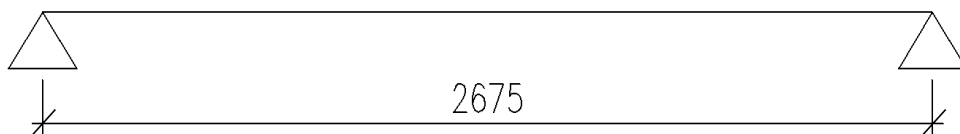
Rozměry průřezu paždíku:

$$b = 0,08 \text{ m}$$

$$h = 0,14 \text{ m}$$



Statické schéma (nejzatíženější paždík):



Průřezové charakteristiky:

$$A = b \cdot h = 0,08 \cdot 0,14 = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,08 \cdot 0,14^2 = 2,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,08 \cdot 0,14^3 = 1,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,83 \cdot 10^{-5}}{1,12 \cdot 10^{-2}}} = 4,04 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,08^2 \cdot 0,14 = 1,49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,08^3 \cdot 0,14 = 5,97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{5,97 \cdot 10^{-6}}{1,12 \cdot 10^{-2}}} = 2,31 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Návrhové vnitřní síly:

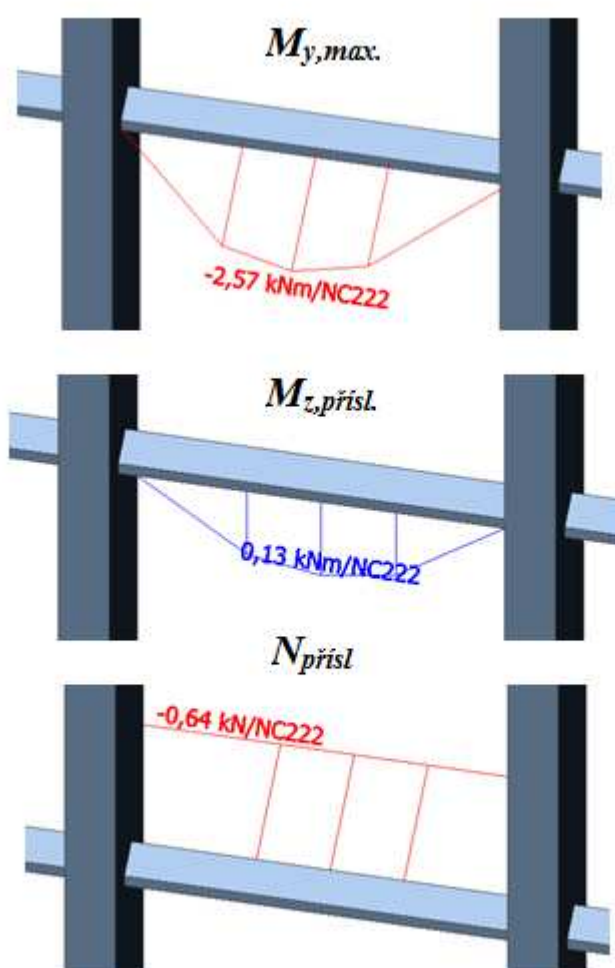
Rozhodující kombinace pro MSÚ a MSP – NC222, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

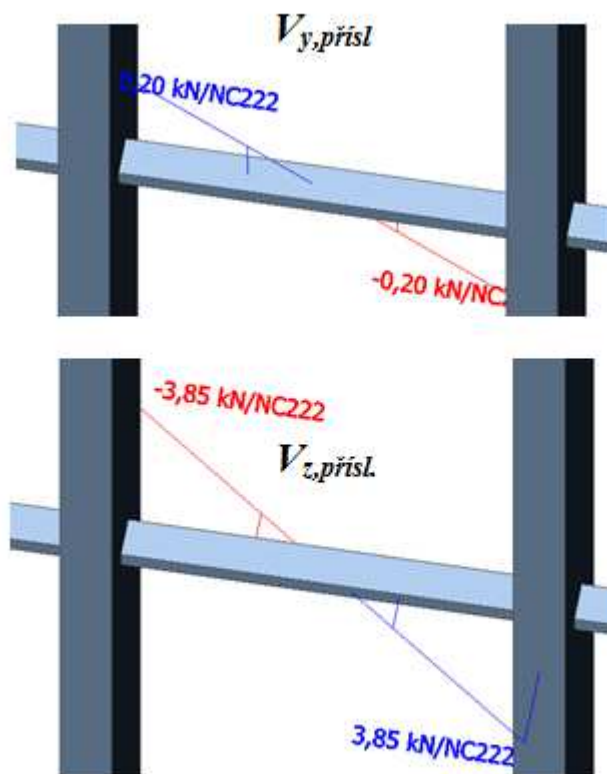
Vl. tíha · 1,35 + *ost. stálé* · 1,35 + *vítr příčný* · 1,5

Návrhový ohybový moment k ose y: $M_{y,d} = -2,57 \text{ kNm}$

Příslušná normálová síla: $N_{přísl.} = -0,64 \text{ kN}$

Příslušná posouvající síla: $V_{přísl.} = 3,85 \text{ kN}$





Obr. 45 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $M_{z,prisl}$, N_{prisl} , $V_{y,prisl}$, $V_{z,prisl}$.

Návrhové napětí za ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,57}{2,61 \cdot 10^{-4}} = 9,83 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí za ohybu k ose z:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,13}{1,49 \cdot 10^{-4}} = 0,87 \text{ MPa}$$

Návrhové normálové napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_D}{A} = \frac{0,64}{1,12 \cdot 10^{-2}} = 0,06 \text{ MPa}$$

Tvarový součinitel pro obdélníkový průřez:

$$k_m = 0,7$$

Posouzení paždíku na dvouosý ohyb s vlivem osového tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,06}{11,3}\right)^2 + \frac{9,83}{12,92} + 0,7 \cdot \frac{0,87}{12,92} \leq 1$$

$$0,81 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,06}{11,3}\right)^2 + 0,7 \cdot \frac{9,83}{12,92} + \frac{0,87}{12,92} \leq 1$$

$$0,60 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení paždíku na ohyb s vlivem klopení a tlakové síly:

Paždík není zajištěn proti ztrátě torzní a příčné stability, proto musí být posouzen na namáhání ohybem s vlivem klopení.

Štíhlostní poměry:

$$\lambda_z = \frac{L}{i_z} = \frac{2,68}{2,31 \cdot 10^{-2}} = 115,79$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{115,79}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,96$$

Součinitel vzpěrnosti:

Součinitel imperfekce pro rostlé dřevo:

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,96 - 0,3) + 1,96^2]$$

$$k_z = 2,59$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{2,59 + \sqrt{2,59^2 - 1,96^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,23$$

Kritické napětí v ohybu:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 2,68 = 2,41 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,08^2}{0,14 \cdot 2,41} \cdot 7400$$

$$\sigma_{m,crit} = 109,64 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{109,64}} = 0,47$$

Bylo nutno určit součinitel k_{crit} , který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } \lambda_{rel,m} \geq 1,4 \end{cases}$$

$$k_{crit} = 1$$

Posouzení paždíku na ohyb s vlivem klopení z roviny nosníku:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{9,83}{1,0 \cdot 12,93} \leq 1,0$$

$$0,76 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení paždíku na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{9,83}{1,0 \cdot 12,93} \right)^2 + \frac{0,06}{0,23 \cdot 11,3} \leq 1,0$$

$$0,60 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení paždíku na smyk:

Návrhová posouvající síla: $V_{y,d} = 0,20 \text{ kN}$

Návrhová posouvající síla: $V_{z,d} = 3,85 \text{ kN}$

Účinná šířka prvku s vlivem trhlin:

$k_{cr} = 0,67$ - pro rostlé dřevo

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,08 = 0,05 \text{ m}$$

Návrhové napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{y,d}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,2 \cdot 10^3}{0,05 \cdot 0,14}$$

$$\tau_{v,d,y} = 0,04 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3,85 \cdot 10^3}{0,05 \cdot 0,14} = 0,77 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{v,d,y}^2 + \tau_{v,d,z}^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,77^2} = 0,77 \text{ MPa}$$

Posouzení napjatosti ve smyku za ohybu:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,77}{1,35} \leq 1$$

$$0,57 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení paždíku na MSP – průhyb:

Do výpočtu okamžitého průhybu w_{inst} paždíku vstupují stejné zatěžovací stavy jako pro určující kombinaci pro MSÚ. Tyto stavy se uvažují ve výpočtech v jejich charakteristických hodnotách. Z vypočteného okamžitého průhybu w_{inst} se následně spočítají hodnoty konečného průhybu w_{fin} pomocí platných vztahů normy ČSN EN 1995-1-1.

Okamžitý průhyb od vlastní tíhy:

Objemová hmotnost rostlého dřeva:

$$\rho_k = 350 \text{ kgm}^{-3}$$

$$g_{0k} = A \cdot \rho_k = 1,12 \cdot 10^{-2} \cdot 350 = 0,04 \text{ kNm}^{-1}$$

Vlastní tíha paždíku působí vůči ose menší tuhosti z , tudíž se musí použít moment setrvačnosti I_z .

$$w_{inst,g_{0k,z}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{0k} \cdot l^4}{E_{mean} I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,04 \cdot 10^3 \cdot 2,68^4}{11000 \cdot 10^6 \cdot 5,97 \cdot 10^{-6}}$$

$$w_{inst,g_{0k,z}} = 0,4 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od ostatního stálého zatížení:

$$g_{1k} = 0,36 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w_{inst,g_{1k,z}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{1k} \cdot l^4}{E_{mean} I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,36 \cdot 10^3 \cdot 2,68^4}{11000 \cdot 10^6 \cdot 5,97 \cdot 10^{-6}}$$

$$w_{inst,z} = 3,65 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení (vítr příčný):

Zatížení větrem na paždík působí vůči ose větší tuhosti y , tudíž se musí použít moment setrvačnosti I_y .

Zatížení

$$q_k = 1,92 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w_{inst,q_{k,y}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot l^4}{E_{mean} I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,92 \cdot 10^3 \cdot 2,68^4}{11000 \cdot 10^6 \cdot 1,83 \cdot 10^{-5}}$$

$$w_{inst,q_{k,y}} = 6,35 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb:

$$w_{inst,z} = w_{inst,g_{0k,z}} + w_{inst,g_{1k,z}} = 0,4 + 3,65$$

$$w_{inst,z} = 4,05 \text{ mm}$$

$$w_{inst,y} = w_{inst,q_{k,y}} = 6,35 \text{ mm}$$

Posouzení okamžitého průhybu:

$$w_{inst,z} \leq \frac{L}{300}$$

$$4,05 \text{ mm} \leq \frac{2675}{300} = 8,92 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$w_{inst,y} \leq \frac{L}{300}$$

$$6,35 \text{ mm} \leq \frac{2675}{300} = 8,92 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet konečného průhybu:

$$w_{fin,z} = w_{inst,g_{0k,z}} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,g_{1k,z}} \cdot (1 + k_{def})$$

$$w_{fin,z} = 0,4 \cdot (1 + 2,0) + 3,65 \cdot (1 + 2,0)$$

$$w_{fin,z} = 0,4 \cdot (3) + 3,65 \cdot (3)$$

$$w_{net,fin,z} = 12,15 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,z} \leq \frac{L}{250}$$

$$12,15 \text{ mm} \leq \frac{2675}{200} = 13,38 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$w_{fin,y} = w_{inst,q_{k,y}} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,y} = 6,35 \cdot (1 + 0,0 \cdot 2)$$

$$w_{fin,y} = 6,35 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin,y} \leq \frac{L}{250}$$

$$6,35 \text{ mm} \leq \frac{2675}{200} = 13,38 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Paždík vyhovuje na mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti. Na stranu bezpečnou byl tento průřez použit pro všechny prvky paždíků v konstrukci štítových stěn sportovní haly.

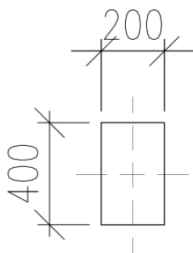
5.7.4 Sloupek

Materiálem pro výrobu sloupků štítových stěn je lepené lamelové dřevo třídy pevnosti GL28h. Vyšší třída pevnosti byla vybrána z toho důvodu, že sloupky jsou poměrně vysoce namáhány příčným zatížením od větru. Dominantním namáháním sloupků je tedy ohyb a v menší míře vzpěrný tlak. Velikosti průřezu byly stanoveny na 200 x 400 mm, průřez je přímý a konstantní. Sloupek uchycený v nejvyšším místě vazníku má délku 15 m a je také nejvíce zatížen. Sloupky jsou na obou koncích kloubově uchyceny. Na horní části do vazníku a na spodní části do železobetonových patek. Sloupkům není bráněno vybočení v jejich rovině, ale z roviny je bráněno vybočení pomocí paždíků.

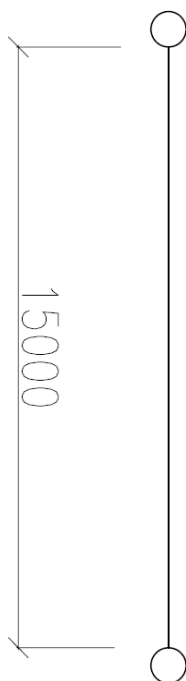
Rozměry průřezu sloupku:

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$h = 0,4 \text{ m}$$



Statické schéma sloupku:



Průřezové charakteristiky:

$$A = b \cdot h = 0,2 \cdot 0,4 = 0,08 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 0,4^2 = 5,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 0,4^3 = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,07 \cdot 10^{-3}}{0,08}} = 0,12 \text{ m}$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,2^2 \cdot 0,4 = 2,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

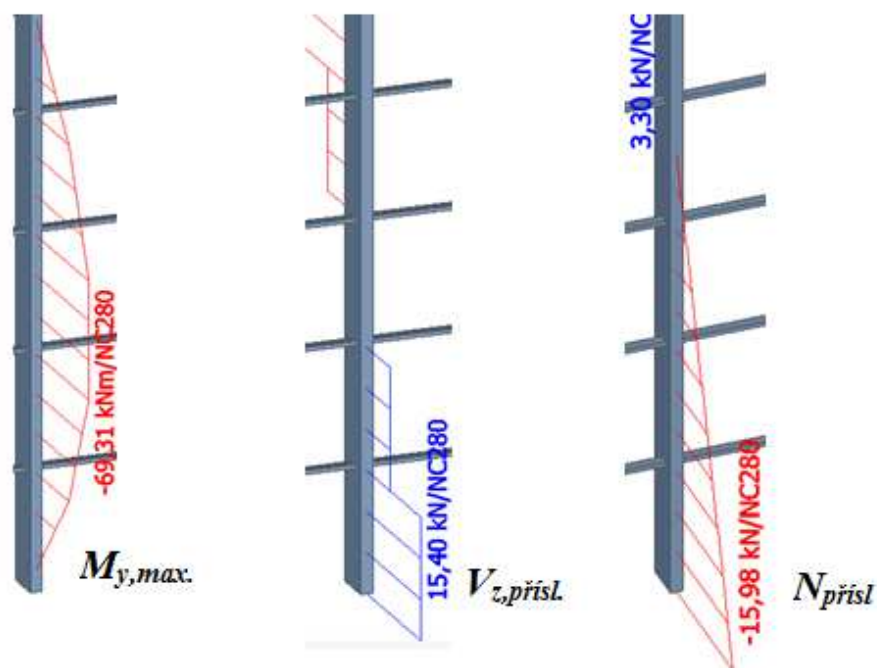
$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,2^3 \cdot 0,4 = 2,67 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,67 \cdot 10^{-4}}{0,08}} = 5,77 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující kombinace pro MSÚ a MSP – NC280, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

Vl. tíha · 1,0 + *ost. stálé* · 1,0 + *vítr příčný* · 1,5 + *sníh navátý vlevo* · 0,75



Obr. 46 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $N_{přisl}$, $V_{z,přisl}$.

Návrhový ohybový moment k ose y: $M_{y,d} = -69,31 \text{ kNm}$

Příslušná normálová síla: $N_{přísl.} = -15,98 \text{ kN}$

Příslušná posouvající síla: $V_{z,přísl.} = 15,40 \text{ kN}$

Příslušný ohybový moment $M_{z,přísl.}$ a posouvající síla $V_{y,přísl.}$ jsou nulové, a proto s nimi není dále ve výpočtech počítáno.

Návrhové napětí za ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{69,31}{5,33 \cdot 10^{-3}} = 13,00 \text{ MPa}$$

Návrhové normálové napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_D}{A} = \frac{15,98}{0,08} = 0,20 \text{ MPa}$$

Posouzení sloupku na ohyb s vlivem osového tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,2}{14,84} \right)^2 + \frac{13}{15,68} \leq 1$$

$$0,83 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení sloupku na ohyb s vlivem klopení a tlakové síly:

Sloupek je zajištěn proti ztrátě příčné a torzní stability pomocí paždíků, které jsou kladeny ve vertikální osové vzdálenosti 3 m. Sloupkům není jinak bráněno vybočení v jejich rovině, a proto se vzpěrná délka neredukuje.

Štíhlostní poměry:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{15}{0,12} = 129,90$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{129,90}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10200}} = 2,11$$

$$\lambda_z = \frac{L}{i_z} = \frac{3}{5,77 \cdot 10^{-2}} = 51,96$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51,96}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10200}} = 0,84$$

Součinitele vzpěrnosti:

Součinitel imperfekce pro lepené lamelové dřevo:

$$\beta_c = 0,1$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (2,11 - 0,3) + 2,11^2]$$

$$k_y = 2,90$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{2,90 + \sqrt{2,90^2 - 2,11^2}}$$

$$\mathbf{k_{c,y} = 0,20}$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,84 - 0,3) + 0,84^2]$$

$$k_z = 0,91$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{0,91 + \sqrt{0,91^2 - 0,84^2}}$$

$$\mathbf{k_{c,z} = 0,80}$$

Vybočení v rovině sloupku je rozhodující - $\mathbf{k_{c,y} = 0,20}$

Kritické napětí v ohybu:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 3 = 2,7 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,20^2}{0,40 \cdot 2,7} \cdot 10200$$

$$\sigma_{m,crit} = 294,67 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{294,67}} = 0,31$$

Bylo nutno určit součinitel k_{crit} , který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } \lambda_{rel,m} \geq 1,4 \end{cases}$$

$$k_{crit} = 1$$

Posouzení sloupku na ohyb s vlivem klopení z jeho roviny:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{13}{1,0 \cdot 15,68} \leq 1,0$$

$$0,83 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení sloupku na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku v rovině:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{13}{1,0 \cdot 15,68} \right)^2 + \frac{0,20}{0,20 \cdot 14,84} \leq 1,0$$

$$0,70 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení sloupku na smyk:

Návrhová posouvající síla: $V_{z,d} = 15,40 \text{ kN}$

Účinná šířka prvku s vlivem trhlin:

$k_{cr} = 0,67$ - pro prvky z lepeného lamelového dřeva

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,20 = 0,13 \text{ m}$$

Návrhové napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{15,40 \cdot 10^3}{0,13 \cdot 0,40}$$

$$\tau_{v,d,z} = 0,43 \text{ MPa}$$

Posouzení napjatosti ve smyku za ohybu:

$$\frac{\tau_{v,d,z}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,43}{1,79} \leq 1$$

$$0,24 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení sloupku na MSP:

Rozhodující kombinace pro MSP – NC345, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

$$Vl. \text{ tíha} \cdot 1,0 + \text{ost. stálé} \cdot 1,0 + \text{vítr podélný} \cdot 1,0 + \text{sníh nenavátý} \cdot 0,5$$

Bylo nutno určit deformace ve vrcholu sloupku od kombinace charakteristických hodnot zatěžovacích stavů pro MSP vypočtený pomocí programu Scia Engineer.

$u_{inst,y} = 53,5 \text{ mm}$ – posun vrchního bodu sloupku v podélném směru haly

$$u_{inst,y} = 53,5 \text{ mm} \leq u_{lim} = \frac{L}{250} = 60 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Vzhledem k tomu, že na sloupek dominantně působí proměnné zatížení větrem, může se považovat tento průhyb za konečný, protože součinitel $\psi_{2,1}$ je nulový.

$$w_{fin,y} = w_{inst,qk,y} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,y} = 53,5 \cdot (1 + 0,0 \cdot 2,0)$$

$$u_{net,fin,y} = 53,5 \text{ mm} \leq u_{net,fin,lim} = \frac{L}{250} = 60 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Všechny hlavní nosné prvky „varianty A“ konstrukce zastřešení sportovní haly vyhovují pro oba mezní stavy.

5.8 Návrh hlavních nosných prvků varianty B

Při návrhu hlavních nosných prvků s trojkloubovým hlavním nosným systémem se mění vnitřní síly pouze u vazníků a sloupků. Střešní vaznice a paždíky jsou zatíženy stejně jako ve *variantě A*, a proto dále nebudou posuzovány. Jejich průřez je tedy navržen totožně jako v případě první varianty.

5.8.1 Hlavní vazník

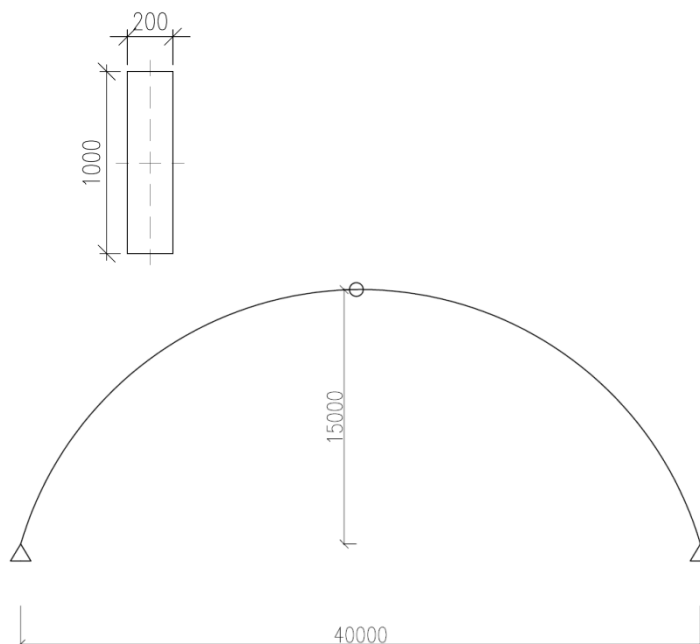
Hlavními nosnými prvky zastřešení *varianty B* sportovní haly jsou trojkloubové oblouky klasického obdélníkového průřezu 200 x 1000 mm. Oblouky jsou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL28h. Rozpětí nosných prvků činí 40 m a jejich vzepětí je 15 m. Poloměr zakřivení oblouku je 20,83 m a délka činí 53,63 m - vztaženo k ose prvku. Vazníky jsou kladeny v osové vzdálenosti 3,6 m v podélném směru haly. Podepření jednotlivých konců vazníků je provedeno pomocí ocelových čepových spojů umístěných na železobetonových patkách. Tento způsob podepření zamezuje pohybu nosného prvku ve všech směrech, avšak umožňuje pootočení. Vrcholový kloub je také proveden pomocí ocelového čepu. Jedná se o staticky určitou konstrukci. Vzhledem k velké délce oblouku a následné přepravě musí být vazník rozdělen na části a na staveništi spojen pomocí montážních spojů. Stabilitu nosných prvků proti vybočení z roviny zajišťují vaznice, které jsou kladeny mezi všechny vazníky.

Rozměry průřezu:

$$b = 0,20 \text{ m}$$

$$h = 1,00 \text{ m}$$

Statické schéma:



Průřezové charakteristiky:

$$A = b \cdot h = 0,20 \cdot 1,0 = 0,20 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,20 \cdot 1,0^2 = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 1,0^3 = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,67 \cdot 10^{-2}}{0,20}} = 0,29 \text{ m}$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,2^2 \cdot 1,0 = 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,2^3 \cdot 1,0 = 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-4}}{0,20}} = 5,77 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Návrhové vnitřní síly:

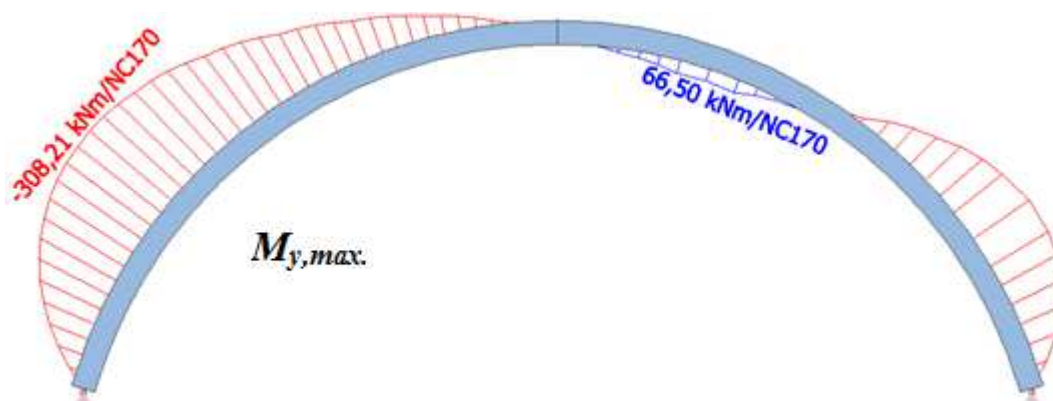
Rozhodující kombinace pro MSÚ - NC170, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

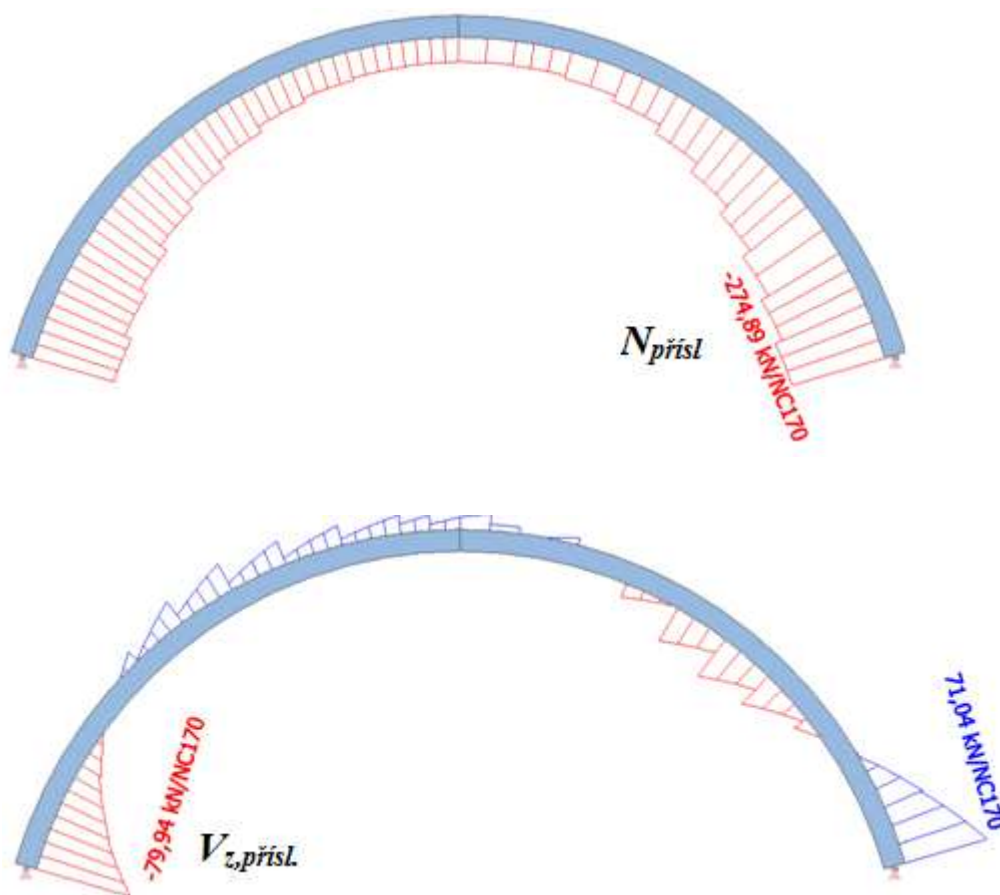
Vl. tíha · 1,35 + *ost. stálé* · 1,35 + *sníh navátý vpravo* · 1,5 + *vítr podélný* · 0,9

Návrhový ohybový moment k ose y: $M_{y,d} = -308,21 \text{ kNm}$

Príslušná normálová síla: $N_{přísl.} = -274,74 \text{ kN}$

Príslušná posouvající síla: $V_{přísl.} = -79,94 \text{ kN}$





Obr. 47 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $N_{přisl}$, $V_{z,přisl}$.

Výsledná posouvající síla $V_{y,d}$ je zanedbatelná ve všech kombinacích na všech vaznících, a proto s touto hodnotou není dále počítáno.

Návrhové napětí za ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{308,21}{3,33 \cdot 10^{-2}} = 9,25 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí za ohybu k ose z:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{2,2}{6,67 \cdot 10^{-3}} = 0,33 \text{ MPa}$$

Návrhové normálové napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_D}{A} = \frac{274,74}{0,20} = 1,37 \text{ MPa}$$

Tvarový součinitel pro obdélníkový průřez:

$$k_m = 0,7$$

Posouzení vazníku na dvouosý ohyb s vlivem osového tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{1,37}{14,84}\right)^2 + \frac{9,25}{15,68} + 0,7 \cdot \frac{0,33}{15,68} \leq 1$$

$$0,60 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left(\frac{1,37}{14,84}\right)^2 + 0,7 \cdot \frac{9,25}{15,68} + \frac{0,33}{15,68} \leq 1$$

$$0,43 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku na ohyb s vlivem klopení a tlakové síly:

Štíhlostní poměry:

$L = 26,81 \text{ m}$ - délka části oblouku končící vrcholovým kloubem.

K ose větší tuhosti není vazníku bráněno proti vybočení a je tedy nutné brát v úvahu celou vzpěrnou délku prutu.

$$\beta = 1,25$$

$$L_{cr,y} = 26,81 \cdot \beta = 26,81 \cdot 1,25 = 33,51 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{33,51}{2,89 \cdot 10^{-1}} = 116,08$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{116,08}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10200}} = 1,88$$

K ose menší tuhosti je nosníku bráněno vybočení pomocí vaznic, které jsou kladeny každých 2,68 m po celé délce vazníku.

$$L_{cr,z} = 2,68 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,68}{5,77 \cdot 10^{-2}} = 46,42$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{46,42}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{102000}} = 0,75$$

Součinitele vzpěrnosti:

Součinitel imperfekce pro prvky z lepeného lamelového dřeva:

$$\beta_c = 0,1$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,88 - 0,3) + 1,88^2]$$

$$k_y = 2,35$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{2,35 + \sqrt{2,35^2 - 1,88^2}}$$

$$\mathbf{k_{c,y} = 0,27}$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,75 - 0,3) + 0,75^2]$$

$$k_z = 0,81$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{0,81 + \sqrt{0,81^2 - 0,75^2}}$$

$$\mathbf{k_{c,z} = 0,91}$$

Vybočení v rovině oblouku je rozhodující – $\mathbf{k_{c,y} = 0,27}$

Posouzení vazníku na vzpěrný tlak:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,37}{0,27 \cdot 14,84} \leq 1$$

$$0,35 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Kritické napětí v ohybu:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 2,68 = 2,42 \text{ m} \quad \text{-délka zabraňující klopení vazníku z jeho roviny}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,20^2}{1,00 \cdot 2,42} \cdot 10200$$

$$\sigma_{m,crit} = 131,94 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{131,94}} = 0,46$$

Bylo nutno určit součinitel k_{crit} , který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } \lambda_{rel,m} \geq 1,4 \end{cases}$$

$$k_{crit} = 1$$

Posouzení vazníku na ohyb s vlivem klopení z jeho roviny:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{9,25}{1,0 \cdot 15,68} \leq 1,0$$

$$0,59 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{9,25}{1,0 \cdot 15,68} \right)^2 + \frac{1,37}{0,96 \cdot 14,84} \leq 1,0$$

$0,45 \leq 1,0$ *Vyhovuje*

Posouzení vazníku na smyk:

Návrhová posouvající síla: $V_{z,d} = -79,94 \text{ kN}$

Účinná šířka prvku s vlivem trhlin:

$k_{cr} = 0,67$ - pro prvky z lepeného lamelového dřeva

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,20 = 0,13 \text{ m}$$

Návrhové napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{79,94 \cdot 10^3}{0,13 \cdot 1,0} = 0,89 \text{ MPa}$$

Posouzení napjatosti ve smyku za ohybu:

$$\frac{\tau_{v,d,z}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,89}{1,79} \leq 1$$

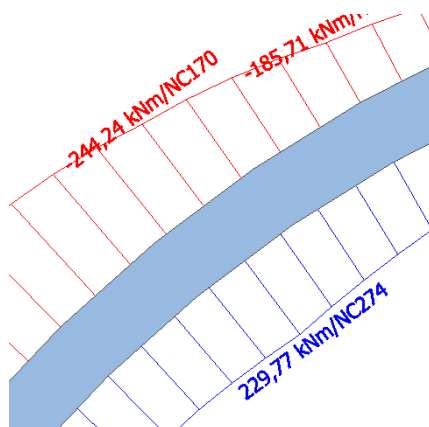
$0,50 \leq 1$ *Vyhovuje*

Nejkritičtější místo konstrukce je ve vrcholové části vazníku. Vzhledem k tomu, že se jedná o trojkloubový oblouk, tak jeho vrcholová část je v ¼ délky. Bylo proto nutné kromě základních posudků pro toto místo spočítat napětí pro různá namáhání podle platných vztahů ČSN EN 1995. Tyto výsledná napětí byla nakonec posouzena.

Posudek na prostý ohyb ve vrcholové části vazníku:

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující kombinace pro posouzení vrcholové části je také NC170. V této kombinaci zatěžovacích stavů vzniká největší ohybový moment v zakřivené oblasti vazníku.



Obr. 48 - Ohybový moment M_y ve vrcholové části vazníku - obálka kombinací MSÚ

Kombinace NC170:

$Vl. \text{ tíha} \cdot 1,35 + \text{ost. stálé} \cdot 1,35 + \text{sníh nenavátý} \cdot 1,5 + \text{vítr podélný} \cdot 0,9$

Návrhový ohybový moment k ose y ve vrcholu vazníku: $M_{ap,d} = 244,24 \text{ kNm}$

Příslušná posouvající síla: $V_{z,přísl.} = -26,66 \text{ kN}$

Součinitel k_l :

$h_{ap} = 1,00 \text{ m}$ - výška nosníku v zakřivené části

$\alpha_{ap} = 0^\circ$ - úhel sklonu náběhu ve středu zakřivené oblasti

$r = 20,83$ - poloměr oblouku k jeho střednici

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg}(\alpha_{ap}) + 5,4 \cdot \text{tg}^2(\alpha_{ap}) = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \text{tg}(\alpha_{ap}) = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg}(\alpha_{ap}) - 7,8 \cdot \text{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \text{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0$$

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot \left(\frac{1,0}{20,83}\right)^2 + 0,6 \cdot \left(\frac{1,0}{20,83}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{1,0}{20,83}\right)^2$$

$$k_l = 1,02$$

Napětí za ohybu v zakřivené části vazníku:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,02 \cdot \frac{6 \cdot 244,24}{0,20 \cdot 1,00^2} = 7,46 \text{ MPa}$$

Součinitel k_r :

$t = 30 \text{ mm}$ -standardní tloušťka lamel

$$r_{in} = r - 0,5 \cdot h_{ap} = 20,83 - 0,5 \cdot 0,8 = 20,43 \text{ m}$$

Určení součinitele k_r , který zohledňuje snížení pevnosti lamel způsobené během výroby podle následující podmínky:

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{20,43}{0,03} = 681 \geq 540 \Rightarrow k_r = 1$$

Posouzení napětí v ohybu ve vrcholové části:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{7,46}{1 \cdot 15,68} \leq 1$$

$$0,48 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku na tah kolmo na vlákna v místě zakřivení:

Součinitel k_p :

$h_{ap} = 1,00 \text{ m}$ -výška nosníku v zakřivené části

$\alpha_{ap} = 0^\circ$ -úhel sklonu náběhu ve středu zakřivené oblasti

$r = 20,83$ -poloměr oblouku k jeho střednici

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) - 4 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap}) = 0$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{1,0}{20,83}\right) + 0 \cdot \left(\frac{1,0}{20,83}\right)^2$$

$$k_p = 0,01$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \text{-pro zakřivené nosníky}$$

Součinitel k_{vol} :

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad \text{-referenční objem}$$

$$V = \frac{\beta \cdot \pi \cdot 0,5}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap}) = \frac{35 \cdot 3,14 \cdot 0,5}{180} \cdot 0,2 \cdot (1,0^2 + 2 \cdot 20,43 \cdot 1,0)$$

$$V = 2,55 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{2,55}\right)^{0,2}$$

$$k_{vol} = 0,33$$

Napětí v tahu kolmo na vlákna vazníku:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,01 \cdot \frac{6 \cdot 244,24}{0,20 \cdot 1,00^2}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,09 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí v tahu kolmo na vlákna vazníku:

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,09}{1,4 \cdot 0,33 \cdot 0,25} \leq 1$$

$$0,76 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení napětí v tahu kolmo na vlákna vazníku v kombinaci se smykem:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z.přisl.}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{26,66}{0,13 \cdot 1}$$

$$\tau_{v,d} = 0,31 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} + \frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,09}{1,4 \cdot 0,33 \cdot 0,25} + \frac{0,31}{1,79} \leq 1$$

$$0,95 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vazníku v tlaku kolmo na vlákna od normálových sil vaznice:

Maximální tlaková síla působící kolmo na vlákna vazníku:

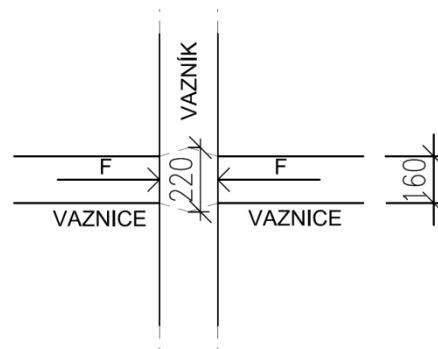
$$N_d = 44,02 \text{ kN} - \text{krajní vaznice}$$

Efektivní dotyková plocha v tlaku kolmo na vlákna:

$$b_{ef} = (b + 2 \cdot t_l) = (0,16 + 2 \cdot 0,03) = 0,22 \text{ m}$$

$$h_{ef} = h = 0,26 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h_{ef} = 0,22 \cdot 0,26 = 0,06 \text{ m}^2$$



V konkrétním případě působí tlaková síla kolmo na prvek z obou jeho protilehlých stran a poměr $\frac{h}{b} \geq 2,5$. Součinitel $k_{c,90}$ se spočte podle následujícího vztahu:

$$k_{c,90} = \frac{b_{ef}}{b_{vaznice}} = \frac{0,22}{0,16} = 1,38$$

Napětí v tlaku kolmo na vlákna vazníku:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{ef}} = \frac{44,02}{0,06} = 0,77 \text{ MPa}$$

Posouzení vazníku v tlaku kolmo na vlákna vazníku:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,77}{1,38 \cdot 1,68} \leq 1$$

$$0,33 \leq 1$$

Vyhovuje

Mezní stav použitelnosti – průhyby vazníku:

Byly zjištěny průhyby pro všechny hlavní osy vazníku. Hodnoty byly zjištěny pomocí výpočtového programu pro kombinaci MSP. Z vypočteného okamžitého průhybu w_{inst} byly následně spočteny hodnoty konečného průhybu w_{fin} pomocí platných vztahů z normy ČSN EN 1995-1-1.

Kombinace NC310 pro max u_z :

$$Vl. tíha \cdot 1,0 + ost. stálé \cdot 1,0 + sníh nenavátý \cdot 1,0 + vítr podélný \cdot 0,6$$

$$u_z = 77,2 \text{ mm} \quad \text{-mezilehlý vazník}$$

Kombinace NC359 pro max u_y :

$$Vl. tíha \cdot 1,0 + ost. stálé \cdot 1,0 + sníh navátý vlevo \cdot 0,5 + vítr podélný \cdot 1,0$$

$$u_y = 68,6 \text{ mm} \quad \text{-krajní vazník}$$

Kombinace NC314 pro max u_x :

$$Vl. tíha \cdot 1,0 + ost. stálé \cdot 1,0 + sníh navátý vlevo \cdot 1,0 + vítr příčný \cdot 0,6$$

$$u_x = 40,2 \text{ mm} \quad \text{-mezilehlý vazník}$$

Okamžitý průhyb u_z od stálého zatížení:

$$w_{inst,g,z} = 26,7 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb u_z od proměnných zatížení (sníh navátý vlevo a vítr příčný):

$$w_{inst,q_{k,z}} = 50,5 \text{ mm}$$

Ve směru x a y , se podílí na okamžitém průhybu pouze proměnná zatížení. Složky průhybů od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení jsou zanedbatelné.

Posouzení okamžitého průhybu $w_{inst,z}$:

$$w_{inst,z} \leq \frac{L}{300}$$

$$77,2 \text{ mm} \leq \frac{40000}{300} = 133,33 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení okamžitého průhybu $w_{inst,y}$:

$$w_{inst,y} \leq \frac{L}{300}$$

$$68,6 \text{ mm} \leq \frac{40000}{300} = 133,33 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení okamžitého průhybu $w_{inst,x}$:

$$w_{inst,x} \leq \frac{L}{300}$$

$$40,2 \text{ mm} \leq \frac{40000}{300} = 133,33 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet a posouzení konečného průhybu $w_{fin,z}$:

$$w_{fin,z} = w_{inst,g_k} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,q_k} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,z} = 26,7 \cdot (1 + 2,0) + 50,5 \cdot (1 + 0,0 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,z} = 26,7 \cdot (3) + 50,5 \cdot (1)$$

$$w_{fin,z} = 130,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin,z} \leq \frac{L}{250}$$

$$130,6 \text{ mm} \leq \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet a posouzení konečného průhybu $w_{fin,y}$:

$$w_{fin,y} = w_{inst,q_k} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,y} = 68,6 \cdot (1 + 0,0 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,y} = 68,6 \cdot (1)$$

$$w_{fin,y} = 68,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin,y} \leq \frac{L}{250}$$

$$68,6 \text{ mm} \leq \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Výpočet a posouzení konečného průhybu $w_{fin,x}$:

$$w_{fin,x} = w_{inst,q_k} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,x} = 40,2 \cdot (1 + 0,0 \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,x} = 40,2 \cdot (1)$$

$$w_{fin,x} = 40,2 \text{ mm}$$

$$w_{fin,x} \leq \frac{L}{250}$$

$$40,2 \text{ mm} \leq \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Vazník vyhovuje na mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti. Tento průřez byl použit pro všechny vazníky v konstrukci zastřešení sportovní haly *varianty B*.

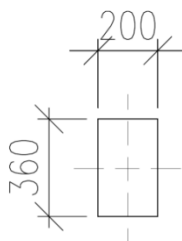
5.8.2 Sloupek

Materiálem pro výrobu sloupků štítových stěn *varianty B* je lepené lamelové dřevo třídy pevnosti GL28h, stejně jako u *varianty A*. Je to z toho důvodu, že sloupky jsou poměrně vysoce namáhány příčným zatížením od větru. Dominantním namáháním sloupků je tedy ohyb a v menší míře vzpěrný tlak. Velikosti průřezu byly stanoveny na 200 x 360 mm, průřez je přímý a konstantní. Sloupky jsou na obou koncích kloubově uchyceny. Na horní části do vazníku pomocí ocelových spojovacích prostředků a na spodní části do železobetonových patek. Sloupkům není bráněno vybočení v jejich rovině, ale z roviny je bráněno vybočení pomocí paždíků a záklopem. Nejzatíženější sloupek má délku 14,31 m.

Rozměry průřezu paždíku:

$$b = 0,20 \text{ m}$$

$$h = 0,36 \text{ m}$$



Statické schéma:



Průřezové charakteristiky:

$$A = b \cdot h = 0,2 \cdot 0,36 = 7,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 0,36^2 = 4,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 0,36^3 = 7,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{7,78 \cdot 10^{-4}}{7,2 \cdot 10^{-2}}} = 0,10 \text{ m}$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,2^2 \cdot 0,36 = 2,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

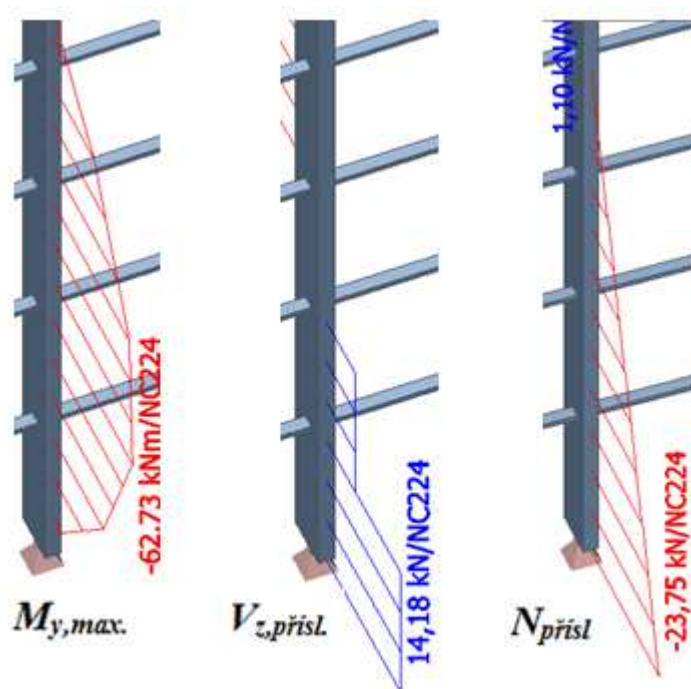
$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,2^3 \cdot 0,36 = 2,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,40 \cdot 10^{-4}}{7,2 \cdot 10^{-2}}} = 5,77 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující kombinace pro MSÚ a MSP – NC224, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

Vl. tíha · 1,35 + *ost. stálé* · 1,35 + *vítr příčný* · 1,5



Obr. 23 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $N_{přisl}$, $V_{z,přisl}$.

Návrhový ohybový moment k ose y: $M_{y,d} = -62,73 \text{ kNm}$

Příslušná normálová síla: $N_{přísl.} = -23,75 \text{ kN}$

Příslušná posouvající síla: $V_{z,přísl.} = 14,18 \text{ kN}$

Příslušný ohybový moment $M_{z,přísl.}$ a posouvající síla $V_{y,přísl.}$ jsou nulové, a proto s nimi není dále ve výpočtech počítáno.

Návrhové napětí za ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{62,73}{4,32 \cdot 10^{-3}} = 14,52 \text{ MPa}$$

Návrhové normálové napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_D}{A} = \frac{14,18}{7,2 \cdot 10^{-2}} = 0,22 \text{ MPa}$$

Posouzení sloupku na ohyb s vlivem osového tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,22}{14,84} \right)^2 + \frac{14,52}{15,68} \leq 1$$

$$0,93 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vaznice na ohyb s vlivem klopení a tlakové síly:

Sloupek je zajištěn proti ztrátě příčné a torzní stability pomocí paždíků, které jsou kladeny ve vertikální osově vzdálenosti 3 m. Avšak sloupkům není bráněno vybočení v jejich rovině, a proto se vzpěrná délka neredukuje.

Štíhlostní poměry:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{14,31}{0,10} = 144,34$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{144,34}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{102000}} = 2,34$$

$$\lambda_z = \frac{L}{i_z} = \frac{3}{5,77 \cdot 10^{-2}} = 51,96$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51,96}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10200}} = 0,84$$

Součinitele vzpěrnosti:

Součinitel imperfekce pro lepené lamelové dřevo:

$$\beta_c = 0,1$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (2,34 - 0,3) + 2,34^2]$$

$$k_y = 3,34$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{3,34 + \sqrt{3,34^2 - 2,34^2}}$$

$$\mathbf{k_{c,y} = 0,17}$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,84 - 0,3) + 0,84^2]$$

$$k_z = 0,91$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{0,91 + \sqrt{0,91^2 - 0,84^2}}$$

$$\mathbf{k_{c,z} = 0,80}$$

Vybočení v rovině sloupku je rozhodující - $\mathbf{k_{c,y} = 0,17}$

Kritické napětí v ohybu:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 3 = 2,7 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,20^2}{0,36 \cdot 2,7} \cdot 10200$$

$$\sigma_{m,crit} = 327,41 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{294,67}} = 0,31$$

Bylo nutno určit součinitel k_{crit} , který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } \lambda_{rel,m} \geq 1,4 \end{cases}$$

$$k_{crit} = 1$$

Posouzení sloupku na ohyb s vlivem klopení z jeho roviny:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{14,52}{1,0 \cdot 15,68} \leq 1,0$$

$$0,93 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení sloupku na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku v rovině:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{14,52}{1,0 \cdot 15,68} \right)^2 + \frac{0,22}{0,17 \cdot 14,84} \leq 1,0$$

$$0,87 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení sloupku na smyk:

Návrhová posouvající síla: $V_{z,d} = 14,18 \text{ kN}$

Účinná šířka prvku s vlivem trhlin:

$k_{cr} = 0,67$ - pro prvky z lepeného lamelového dřeva

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,20 = 0,13 \text{ m}$$

Návrhové napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{y,d}}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{14,18 \cdot 10^3}{0,13 \cdot 0,36}$$

$$\tau_{v,d,z} = 0,45 \text{ MPa}$$

Posouzení napjatosti ve smyku za ohybu:

$$\frac{\tau_{v,d,z}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,45}{1,79} \leq 1$$

$$0,25 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení sloupku na MSP:

Rozhodující kombinace pro MSP – NC356, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

$$Vl. \text{ tíha} \cdot 1,0 + \text{ost. stálé} \cdot 1,0 + \text{vítr podélný} \cdot 1,0 + \text{sníh navátý vpravo} \cdot 0,5$$

Bylo nutno určit deformace ve vrcholu sloupku od kombinace charakteristických hodnot zatěžovacích stavů pro MSP vypočtený pomocí programu Scia Engineer.

$u_{inst,y} = 55,7 \text{ mm}$ – posun vrchního bodu sloupku v podélném směru haly

$$u_{inst,y} = 55,7 \text{ mm} \leq u_{lim} = \frac{L}{250} = 57,24 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Vzhledem k tomu, že na sloupek dominantně působí proměnné zatížení větrem, můžeme považovat tento průhyb za konečný, protože $\psi_{2,1}$ je nulové.

$$w_{fin,y} = w_{inst,q_{k,y}} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{fin,y} = 55,7 \cdot (1 + 0,0 \cdot 2,0)$$

$$u_{net,fin,y} = 55,7 \text{ mm} \leq u_{net,fin,lim} = \frac{L}{250} = 57,24 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Všechny hlavní nosné prvky varianty B vyhovují pro oba mezní stavy.

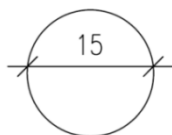
5.9 Návrh a posudek ztužení a spojů varianty A

5.9.1 Návrh příčných střešních ztužidel

Nezbytnou součástí posuzované konstrukce zastřešení byl návrh střešních ztužidel. Tato ztužidla zajišťují celkovou prostorovou stabilitu objektu. Pro konkrétní variantu byly vybrány ocelová táhla Macalloy 460. Průměr táhel byl stanoven na 15 mm se závitem M16. Táhla jsou vyrobena z oceli třídy pevnosti S460. V konstrukci zastřešení se nacházejí celkem 3 pole střešních ztužidel. Kotvení je provedeno pomocí čepu, který je připojen na ocelový T průřez. V táhlech bylo ve výpočtovém modelu zamezeno vzniku tlakových sil. Jednotlivé táhla mají totožné délky $l = 4,49 \text{ m}$.

Rozměry průřezu:

$$d = 15 \text{ mm}$$



Statický model:



Průřezové charakteristiky:

Mez kluzu táhel - $f_y = 460 \text{ MPa}$

Mez pevnosti táhel - $f_u = 610 \text{ MPa}$

Průřezová plocha táhla - $A = 177 \text{ mm}^2$

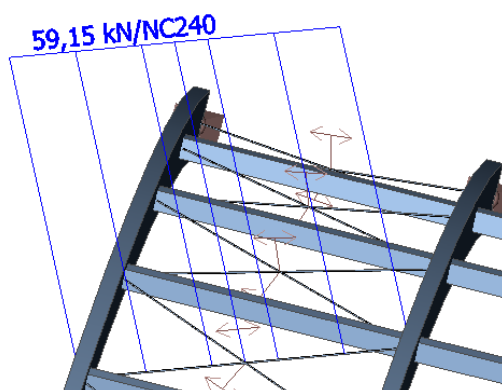
Oslabená průřezová plocha - $A_{net} = 150 \text{ mm}^2$

Návrhové vnitřní síly:

Rozhodující kombinace pro MSÚ – NC240, která obsahuje tyto zatěžovací stavy:

$$Vl. \text{ tíha} \cdot 1,35 + \text{ost. stálé} \cdot 1,35 + \text{vítr podélný} \cdot 1,5 + \text{sníh navátý vpravo} \cdot 0,75$$

Návrhová normálová síla v táhle - $N_{ed} = 59,15 \text{ kN}$



Obr. 49 – Návrhová tahová normálová síla v táhlu

Posouzení na mezní stav únosnosti bylo provedeno pomocí tabulek výrobce. Z tabulek vyplývá, že únosnost jednoho táhla je $70,0 \text{ kN}$.

Závit	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
d (mm)	9	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
A_{net} (mm ²)	54	79	150	234	339	541	793	1090	1434	1982	2616	3818	4867	5505	6895
$N_{u,Rd}$ (kN)	25,4	36,9	70,0	110,0	159	254	372	512	673	930	1228	1791	2283	2583	3235
$N_{el,Rd}$ (kN)	22,7	32,7	62,7	98,2	142	226	331	455	600	829	1095	1596	2035	2303	2884

Tab. 3 - Únosnosti táhel společnosti Macalloy [21]

Posouzení ocelového táhla na tah:

$$\frac{N_{ed}}{N_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{59,15}{70,00} \leq 1$$

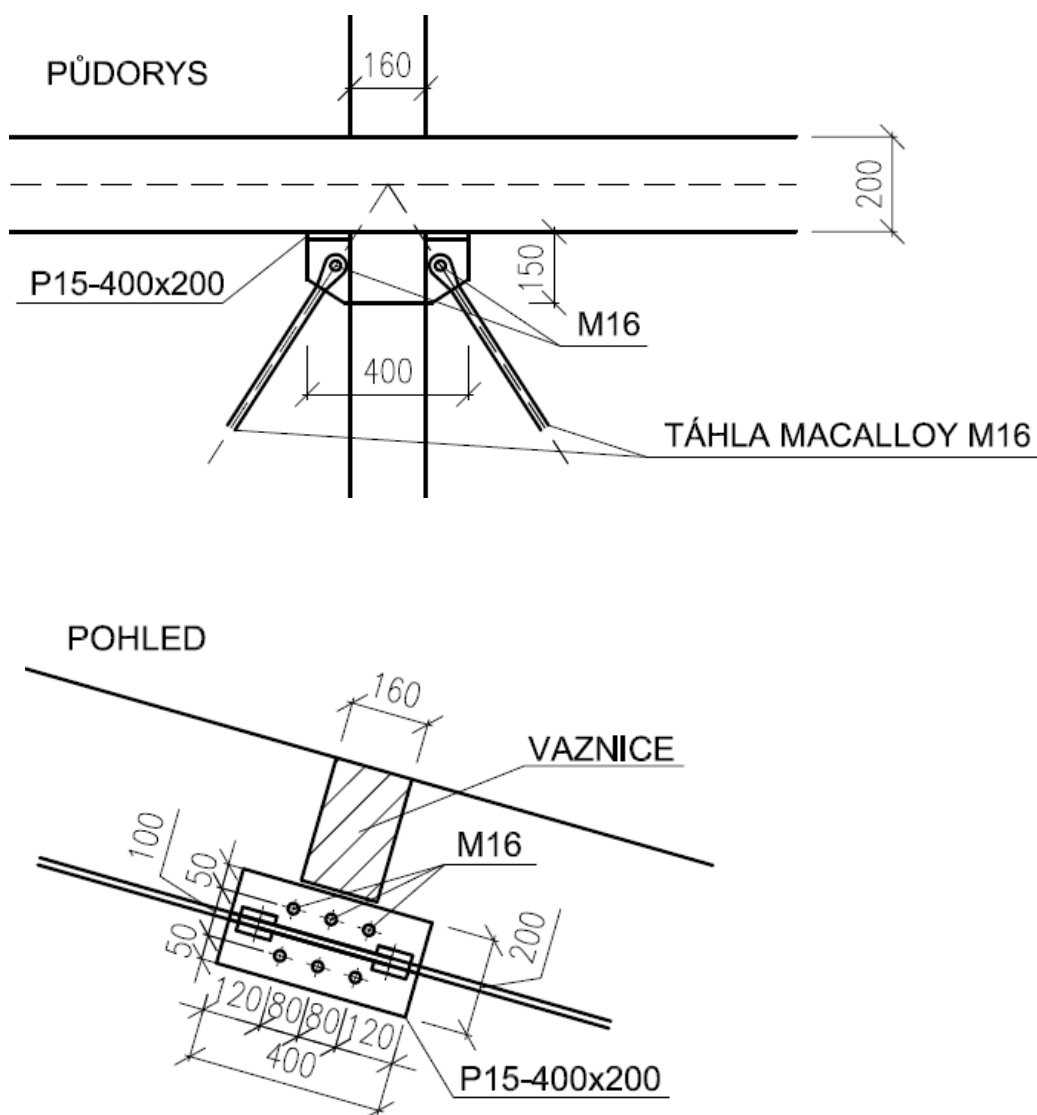
$$0,85 \leq 1$$

Vyhovuje

5.9.2 Připojení táhla na vazník

Napojení ocelových táhel na vazníky je provedeno pomocí ocelových plechů třídy pevnosti S355, tloušťky 15 mm. Plech této tloušťky byl zvolen podle doporučení výrobce, aby došlo k plnohodnotnému styku připojovaných koncovek táhel a plechů. Plechy jsou vzájemně spojeny koutovými svary. Připojení plechů k vazníkům zabezpečují svorníky třídy pevnosti 5.8.

Schéma přípoje:



Obr. 50 – Schéma připojení táhel na vazník

Tahová síla působící v prvku:

$$N_{ed} = 59,15 \text{ kN}$$

Návrh styčnickového plechu:

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

-tloušťka plechu

$$h_p = 200 \text{ mm}$$

-výška plechu

$$b_p = 400 \text{ mm}$$

-šířka plechu

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

-mez kluzu plechu

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

-mez pevnosti plechu

Návrh svorníků:

$$d = 16 \text{ mm}$$

-průměr svorníků

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

-průměr otvoru pro svorníky

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

-průřezová plocha jednoho svorníku

$$n = 6$$

-celkový počet svorníků ve spoji

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$$

-mez kluzu svorníků

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

-mez pevnosti svorníků

Osové vzdálenosti roztečí svorníků:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 80 \text{ mm}$$

-navrženo 80 mm

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 16 = 64 \text{ mm}$$

-navrženo 100 mm

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80) = 112 \text{ mm}$$

-navrženo 120 mm

$$a_{4,t} = 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

-navrženo 50 mm

Rozklad síly v táhle na rovnoběžnou a kolmou složku zatížení:

$$\beta = 53,61^\circ$$

-úhel mezi táhlem a vazníkem

$$N_{\parallel} = N_d \cdot \cos \beta = 59,15 \cdot \cos 53,61 = 35,09 \text{ kN}$$

$$N_{\perp} = N_d \cdot \sin \beta = 59,15 \cdot \sin 53,61 = 47,62 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otláčení dřevěného prvku:

Jedná se o předvrtávané otvory a pro výpočet byl použit tento vztah:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = 28,24 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16^{2,6} = 202676,4 \text{ N/mm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku:

$$t_1 = 200 \text{ mm} - \text{šířka vazníku}$$

Bylo potřeba zjistit jakým způsobem spoj posuzovat. Jedná se o přípoj ocel-dřevo připojený pomocí svorníků. Bylo nutno určit, zda se jedná o desku tenkou nebo tlustou.

$$0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm} \leq t_p = 15 \text{ mm}$$

$$d = 16 \text{ mm} \geq t_p = 15 \text{ mm}$$

Podle výchozích předpokladů se nejedná o desku tenkou, ale ani tlustou. Je nutno interpolovat mezi výsledky pevností pro spoje s tenkými a tlustými ocelovými deskami.

Tlustá deska jednostřížně namáhaná:

$$F_{v,Rk1} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \\ f_{h,k} \cdot d \cdot t_1 \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 28,24 \cdot 200 \cdot 16 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 202676,4}{28,24 \cdot 16 \cdot 200^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{202676,4 \cdot 28,24 \cdot 16} \\ 28,24 \cdot 16 \cdot 200 \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 38,86 \text{ kN} \\ 22,01 \text{ kN} \\ 90,37 \text{ kN} \end{array} \right\} = 22,01 \text{ kN}$$

Tenká deska jednostřížně namáhaná:

$$F_{v,Rk2} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d}} \right\}$$

$$F_{v,Rk2} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot 28,24 \cdot 200 \cdot 16}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 202676,4 \cdot 28,24 \cdot 16}} \right\}$$

$$F_{v,Rk2} = \min \{36,15 \text{ kN}\} = 15,56 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} = \frac{F_{v,Rk1} + F_{v,Rk2}}{2} = 18,79 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 0,7 \cdot \frac{18,79}{1,30} = 10,12 \text{ kN}$$

Minimální počet svorníků ve spoji:

$$n = \frac{N_{\parallel}}{F_{v,Rd}} = \frac{35,09}{10,12} = 3,47$$

Celkem použito 6 svorníků – 2 řady po 3 svornících.

Účinný počet svorníků v jedné řadě rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{matrix} n = 3 \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{80}{13 \cdot 16}} = 2,12 \end{matrix} \right\} = 2,12$$

Účinná charakteristická únosnost spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$F_{v,ef,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} \cdot n_{ef} = 2 \cdot 10,12 \cdot 2,12 = 44,54 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{\parallel}}{F_{v,ef,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{35,09}{42,91} \leq 1,0$$

$$0,82 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Únosnost svorníků ve střihu:

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 31,40 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot F_{v,Rd,1} = 6 \cdot 31,40 = 125,60 \text{ kN}$$

Posouzení svorníku na střih:

$$\frac{N_{\parallel}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{35,09}{125,60} \leq 1,0$$

$$0,28 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{120}{3 \cdot 18} = 2,07 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{80}{3 \cdot 18} - 0,25 = 1,23 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{18} = 6,08 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{18} - 1,7 = 6,08 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 15}{1,25} = 240 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{\parallel}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{35,09}{240,00} \leq 1,0$$

$$0,15 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost svorníku v tahu:

$$F_{t,Rd,1} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,0} = 70,65 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = n \cdot F_{t,Rd,1} = 6 \cdot 70,65 = 282,60 \text{ kN}$$

Posouzení svorníku na tahové namáhání:

$$\frac{2 \cdot N_{\perp}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{2 \cdot 47,62}{282,60} \leq 1,0$$

$$0,34 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení svorníku na kombinaci tahu a střihu:

$$\frac{N_{\parallel}}{F_{v,Rd}} + \frac{2 \cdot N_{\perp}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{35,09}{125,60} + \frac{2 \cdot 47,62}{1,4 \cdot 282,60} \leq 1$$

$$0,52 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Svarový přípoj plechů:

$$l = 400 \text{ mm}$$

-účinná délka svaru

$$a = 4 \text{ mm}$$

-účinná výška svarového obrazce

$$\beta_w = 0,9$$

-korekční faktor pro ocel S355

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 400 \cdot 4 = 3200 \text{ mm}^2$$

-plocha svarového obrazce

Napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{A_w} = \frac{35,09}{3200} = 10,97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{2 \cdot N_{\perp}}{A_w} = \frac{2 \cdot 47,62}{3200} = 29,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{29,76}{\sqrt{2}} = 21,04 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru plechů:

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$21,04 \leq \frac{360}{1,25} = 408 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

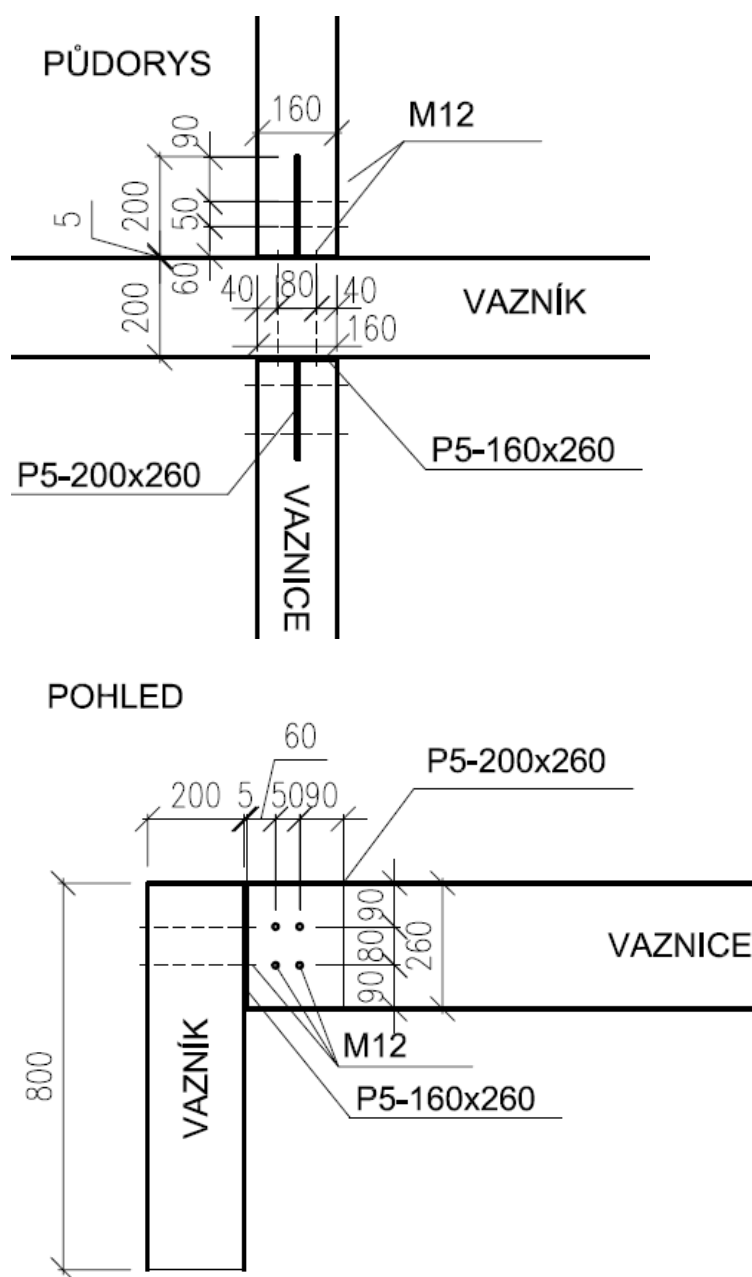
$$\sqrt{21,04^2 + 3 \cdot (21,04^2 + 10,97^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$46,17 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení koncovky táhla nebylo provedeno. Výrobce uvádí, že při připojení na plech tloušťky 15 mm pomocí šroubů M16 je spoj vyhovující. Tento předpoklad je splněn.

5.9.3 Připojení vaznice na vazník

Pro připojení vaznic k vazníkům byly použity ocelové plechy třídy pevnosti S355, tloušťky 5 mm, svařených do tvaru T. Plechy jsou nejprve připojeny k vazníkům pomocí svorníků třídy pevnosti 5.8, průměru 12 mm. Následně se na plech osadí vaznice s drážkou a také spojí pomocí svorníků. Do výpočtu únosnosti spojovacích prostředků vstupují posouvající síly $V_{ed,y}$, $V_{ed,z}$ a maximální tahová síla $N_{ed,tah}$. Tlaková síla je přenesena kontaktem dílců.



Obr. 51 – Schéma připojení vaznice na vazník

Návrhové vnitřní síly ve spoji:

$$N_{ed,min} = -45,69 \text{ kN} \quad \text{-tlaková síla je přenesena kontaktem}$$

$$N_{ed,max} = 19,93 \text{ kN}$$

$$V_{z,ed,max} = 14,92 \text{ kN}$$

$$V_{y,ed,přisl.} = 8,91 \text{ kN}$$

Návrh a posouzení spojovacího prostředku (spoj styčnickový plech-vazník):

Návrh rozměrů plechu:

$$h = 260 \text{ mm}$$

$$b = 160 \text{ mm}$$

$$t_p = 5 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Navrženo bylo 4 ks svorníků třídy pevnosti 5.8, průměru 12 mm.

$$d = 12 \text{ mm} \quad \text{-průměr svorníku}$$

$$A_s = 84,3 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svorníku}$$

$$n = 4 \text{ ks} \quad \text{-počet svorníků pro připojovaný prvek}$$

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu svorníku}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti svorníku}$$

$$\gamma_{M2} = 1,3 \quad \text{-součinitel materiálu pro spoje}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{-součinitel materiálu pro ocel}$$

Osové vzdálenosti svorníků:

$$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = 48 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 80 mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 48 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 80 mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7d; 80) = 84 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 90 mm}$$

$$a_{4,t} = 3 \cdot d = 36 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 40 mm}$$

Výslednice posouvajících sil od vaznice působící ve spoji stříhem:

$$V_{ed} = \sqrt{V_{z,ed,max}^2 + V_{y,ed,přísl.}^2} = \sqrt{14,92^2 + 8,91^2} = 17,38$$

Sklon výslednice k vláknům dřeva:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{V_{z,ed,max}}{V_{y,ed,přísl.}}\right) = \arctg\left(\frac{14,92}{8,91}\right) = 59,15^\circ$$

Charakteristická pevnost v otlačení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_{k,LLD} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 410 = 29,59 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{29,59}{1,53 \cdot \sin^2 59,15^\circ + \cos^2 59,15^\circ} = 21,62 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti svorníku:

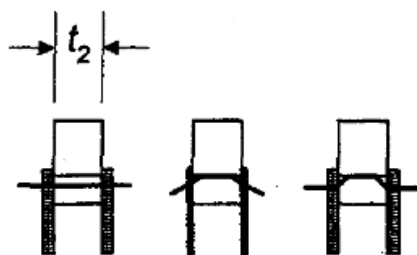
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 12^{2,6} = 95931,78 \text{ N/mm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku:

Jedná se o dvojstřížný spoj, kde dřevěný prvek je jako střední prvek.

Tloušťka dřevěného prvku:

$$t_2 = 200 \text{ mm} \quad \text{-šířka vazníku}$$



Obr. 52 – Dvojstřížný spoj s vnějšími ocelovými deskami [4]

Tenké ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů:

$$F_{v,rk} = \left(\frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} \right)$$

$$F_{v,rk} = \left(\frac{0,5 \cdot 21,62 \cdot 200 \cdot 12}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 95931,78 \cdot 21,62 \cdot 12}} \right)$$

$$F_{v,rk} = \left(\frac{25,94 \text{ kN}}{8,11 \text{ kN}} \right) = 8,11 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho svorníku pro jeden stříh:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{8,11}{1,30} = 4,37 \text{ kN}$$

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{0^\circ,ef} = \min \left\{ \begin{array}{c} n = 2 \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{80}{13 \cdot 12}} = 1,58 \end{array} \right\}$$

$$n_{0^\circ,ef} = 1,58$$

$$n_{90^\circ,ef} = 2$$

Pro 4 svorníky:

$$n_{0^\circ,ef} = 3,16$$

$$n_{90^\circ,ef} = 4$$

Interpolací mezi těmito dvěma hodnotami, zjistíme přesnou hodnotu pro úhel výslednice $59,15^\circ$.

$$n_{59,15^\circ,ef} = 3,71$$

Posouzení únosnosti svorníků:

$$\frac{F_{v,ed}}{2 \cdot F_{v,Rd} \cdot n_{59,15^\circ,ef}} \leq 1$$

$$\frac{17,38}{2 \cdot 4,37 \cdot 3,71} \leq 1$$

$$0,54 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{90}{3 \cdot 14} = 2,14 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{80}{3 \cdot 14} - 0,25 = 1,65 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7 = 2,61 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{80}{26} - 1,7 = 2,61 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 12 \cdot 5}{1,25} = 59,98 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}/4}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{4,35}{59,98} \leq 1,0$$

$$0,07 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení svorníku na kombinaci stříhu a tahu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} = 16,86 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} = 30,35 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot F_{v,Rd}} + \frac{N_{ed,max}}{1,4 \cdot n \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{24,90}{4 \cdot 16,86} + \frac{19,93}{1,4 \cdot 4 \cdot 30,35} \leq 1$$

$$0,49 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti svorníků – spoj ocel-dřevo (vsazený plech-vaznice):

Návrh rozměrů plechu:

$$h = 260 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$t_p = 5 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Navrženo bylo 4 ks svorníků třídy pevnost 5.8, průměru 12 mm.

$$d = 12 \text{ mm} \quad \text{-průměr svorníku}$$

$$A_s = 84,3 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svorníku}$$

$$n = 4 \text{ ks} \quad \text{-počet svorníků pro připojovaný prvek}$$

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu svorníku}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti svorníku}$$

$$\gamma_{M2} = 1,3 \quad \text{-součinitel materiálu pro spoje}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{-součinitel materiálu pro ocel}$$

Osové vzdálenosti svorníků:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 48 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 50 mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 48 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 80 mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7d; 80) = 84 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 90 mm}$$

$$a_{4,t} = 3 \cdot d = 36 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 90 mm}$$

Ve spoji působí stříhem dvě složky zatížení – tahová normálová síla $N_{max,ed}$ a posouvající síla $V_{z,ed}$. Byla zjištěna jejich výslednice a sklon k vláknům dřeva.

$$F_{v,ed} = \sqrt{V_{z,ed}^2 + N_{max,ed}^2} = \sqrt{14,92^2 + 19,93^2} = 24,90 \text{ kN}$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{V_{z,ed,max}}{V_{y,ed,přísl.}}\right) = \arctg\left(\frac{14,92}{19,93}\right) = 36,82^\circ$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_{k,RD} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 350 = 25,26 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,26}{1,53 \cdot \sin^2 36,82^\circ + \cos^2 36,82^\circ} = 21,23 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti svorníku:

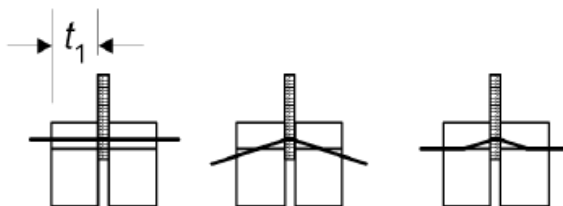
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 12^{2,6} = 95931,78 \text{ N/mm}$$

Charakteristická únosnost jednoho svorníku:

Jedná se o dvojstřížný spoj, kde ocelová deska působí jako střední prvek.

Tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = \frac{(b-t_p)}{2} = \frac{(160-5)}{2} = 77,5 \text{ mm} \quad \text{-polovina šířky vaznice}$$



Obr. 53 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed [4]

Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,Rk} = \left(\begin{array}{c} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} \\ f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right)$$

$$F_{v,Rk} = \left(\begin{array}{c} 21,23 \cdot 77,5 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 95931,78}{21,23 \cdot 12 \cdot 77,5^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{95931,78 \cdot 21,23 \cdot 12} \\ 21,23 \cdot 77,5 \cdot 12 \end{array} \right)$$

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} 9,88 \text{ kN} \\ 11,37 \text{ kN} \\ 19,74 \text{ kN} \end{pmatrix} = 9,88 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho svorníku pro jeden střih:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{9,88}{1,30} = 5,32 \text{ kN}$$

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{0^\circ,ef} = \min \left\{ \begin{matrix} n = 2 \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50}{13 \cdot 12}} = 1,40 \end{matrix} \right\}$$

$$n_{0^\circ,ef} = 1,40$$

$$n_{90^\circ,ef} = 2$$

Pro 4 svorníky:

$$n_{0^\circ,ef} = 2,80$$

$$n_{90^\circ,ef} = 4$$

Interpolací mezi těmito dvěma hodnotami, zjistíme přesnou hodnotu pro úhel výslednice - 36,82°.

$$n_{36,82^\circ,ef} = 3,29$$

Posouzení únosnosti svorníků:

$$\frac{F_{v,ed}}{2 \cdot F_{v,Rd} \cdot n_{36,82^\circ,ef}} \leq 1$$

$$\frac{24,90}{2 \cdot 5,32 \cdot 3,29} \leq 1$$

$$0,71 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti svorníků na střih:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} = 16,86 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{n \cdot F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{24,90}{4 \cdot 16,86} \leq 1$$

$$0,37 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{90}{3 \cdot 14} = 2,14 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{50}{3 \cdot 14} - 0,25 = 0,94 \end{array} \right\} = 0,94$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{90}{26} - 1,7 = 7,99 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{80}{26} - 1,7 = 2,61 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,94 \cdot 510 \cdot 12 \cdot 5}{1,25} = 57,53 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}/4}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{6,23}{57,53} \leq 1,0$$

$$0,11 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje ocelových desek:

$$a = 3 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 260 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 260 \cdot 3 = 1560 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed,z}}{A_w} = \frac{14,92}{1560} = 9,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{ed}}{A_w} + \frac{V_{ed,y}}{A_w} = \frac{19,93}{1560} + \frac{8,91}{1560} = 18,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{18,48}{\sqrt{2}} = 13,07 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{13,07 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$\mathbf{0,03 \leq 1,0} \quad \mathbf{Vyhovuje}$$

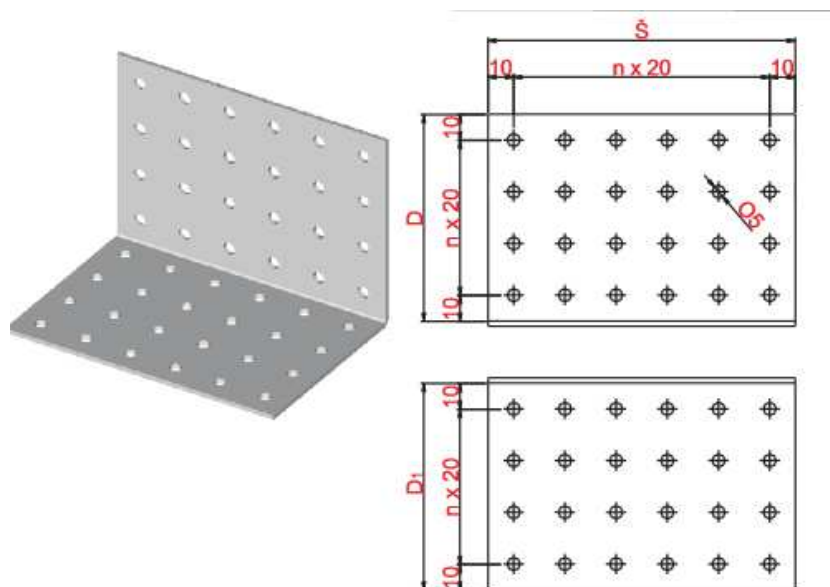
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{13,07^2 + 3 \cdot (13,07^2 + 9,56^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

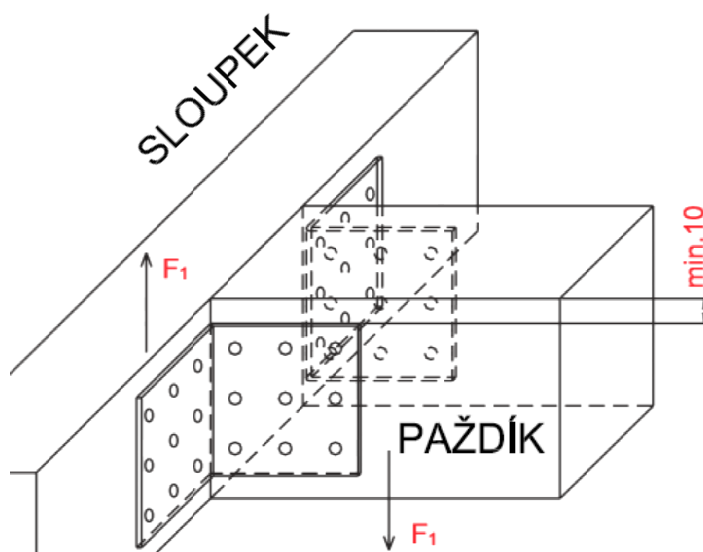
$$\mathbf{30,94 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa}} \quad \mathbf{Vyhovuje}$$

5.9.4 Připojení paždíku ke sloupku

Pro připojení paždíků ke sloupkům štitové stěny byly použity ocelové spojovací prostředky firmy BOVA Nail. Spojovací úhelníky 05-01, které odpovídají požadovaným rozměrům průřezu paždíku. Tento typ je určen zejména pro menší průřezy. Tloušťka plechu třmenů je 2 mm. Ve spoji jsou použity ocelové hřebíky průměru 4 mm a délky 40 mm.



Obr. 54 – Spojovací úhelník BOVA 05-01 [22]



Obr. 55 – Ilustrace připojení paždíku na sloupek [22]

Návrh rozměrů úhelníku:

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

Vnitřní síly ve spoji:

$$N_{ed,min} = -7,39 \text{ kN}$$

$$N_{ed,max} = 18,94 \text{ kN}$$

$$V_{z,ed,max} = 4,12 \text{ kN}$$

$$V_{y,ed,přisl.} = 0,2 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti ocelového úhelníku:

Podle výrobce je vždy rozhodující únosnost spojovacích prostředků, v tomto případě hřebíků. Není proto nutné ověřovat únosnost ocelového plechu. Úhelníky se používají vždy z obou stran dřevěného profilu. Vzhledem k tomu, že dominantní zatížení na paždíky je v podélném směru haly, jsou úhelníky připojovány na delší stranu průřezu paždíku – horizontální směr.

Posouzení únosnosti hřebíků – spoj ocel-dřevo (úhelník-sloupek):

Navrženo bylo 2x24 ks hřebíků BV/KH průměru 4 mm na jeden připojovaný prvek.

$$d = 4 \text{ mm} \quad \text{-průměr dřívku hřebíku}$$

$$l = 40 \text{ mm} \quad \text{-délka hřebíku}$$

$$n = 24 \quad \text{-počet kusů na jeden připojovaný prvek}$$

$$t_1 = 38 \text{ mm} \quad \text{-hloubka vniku hřebíku do dřeva}$$

$$F_{HR} = 0,71 \text{ kN} \quad \text{-únosnost jednoho hřebíku ve stříhu dle výrobce}$$

Únosnost hřebíku ve stříhu je vždy rozhodující. Je použito poloviční množství hřebíků tzn. 12 hřebíků pro 1 stěnu ocelového plechu.

Kontrolní únosnost podle ČSN EN:

Charakteristická pevnost v otlacení dřevěného prvku:

Jedná se o nepředvrtávané otvory a použit byl tento vztah:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot \rho_k^{-0,3} = 0,082 \cdot 350^{-0,3} = 18,93 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 4^{2,6} = 17729,06 \text{ N/mm}$$

Tenká deska jednostrážně namáhaná:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d}} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot 18,93 \cdot 38 \cdot 4}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 17729,06 \cdot 18,93 \cdot 4}} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{matrix} 1,15 \text{ kN} \\ 1,89 \text{ kN} \end{matrix} \right\} = 1,15 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{1,15}{1,30} = 0,62 \text{ kN}$$

Únosnost hřebíku podle ČSN EN je nižší než od výrobce. Na stranu bezpečnou bylo počítáno s touto hodnotou.

Výslednice sil působících ve spoji střihem:

Ve spoji působí střihem obě složky posouvajících sil.

$$F_d = \sqrt{V_{z,ed}^2 + V_{y,ed}^2} = \sqrt{4,12^2 + 0,2^2} = 4,12 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti hřebíků na namáhání střihem:

$$F_{v,Rd} = n \cdot F_{HR} = 24 \cdot 0,62 = 14,88 \text{ kN}$$

$$\frac{F_d}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{4,12}{14,88} \leq 1$$

$$0,28 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Posouzení únosnosti hřebíků – spoj ocel-dřevo (úhelník-paždík):

Navržen počet 24 ks hřebíků BV/KH průměru 4 mm, délky 40 mm pro jednu stěnu ocelového úhelníku. Větší počet hřebíků byl zvolen kvůli vysoké tahové síle v místě uložení.

Výslednice sil působící ve spoji stříhem:

Ve spoji působí stříhem dvě složky zatížení – tahová normálová síla $N_{max,ed}$ a posouvající síla $V_{z,ed}$.

$$F_d = \sqrt{V_{z,ed}^2 + N_{max,ed}^2} = \sqrt{4,12^2 + 18,94^2} = 19,38 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti hřebíků na namáhání stříhem:

$$F_{v,Rd} = n \cdot F_{HR} = 48 \cdot 0,64 = 30,72 \text{ kN}$$

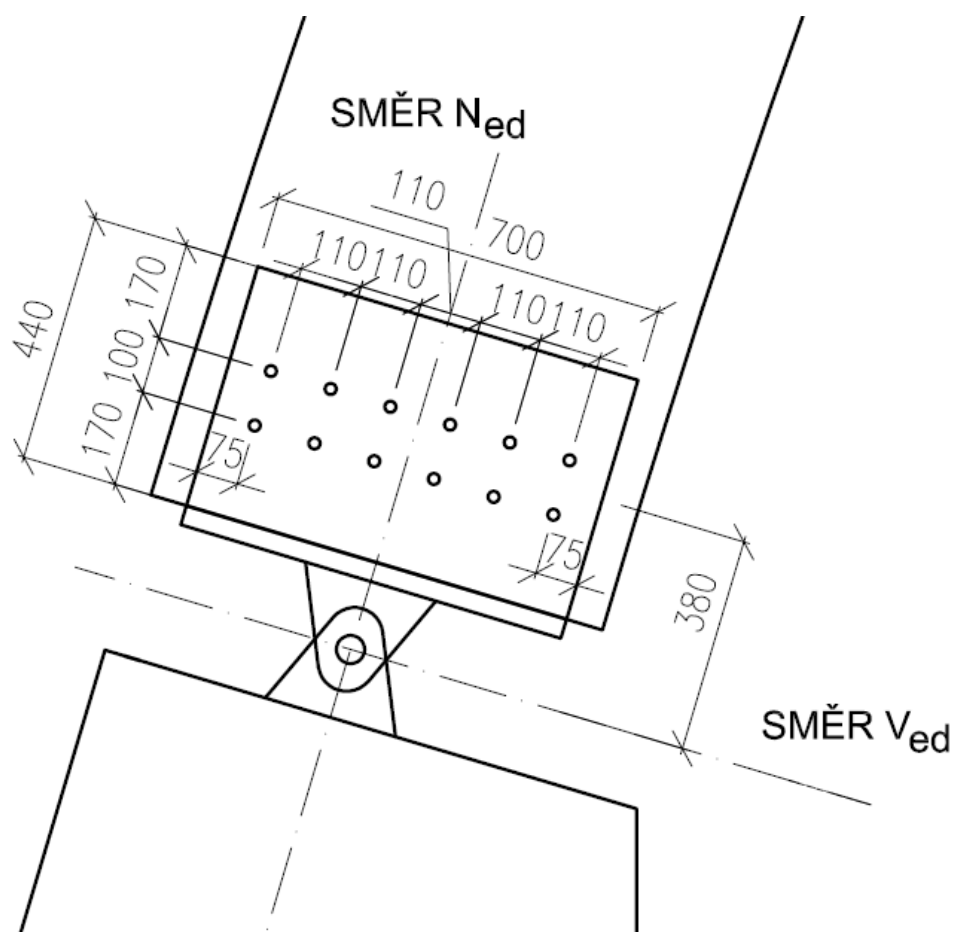
$$\frac{F_d}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{19,38}{30,72} \leq 1$$

$$0,63 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.9.5 Uložení vazníku na ŽB patku

Vazníky jsou uloženy na železobetonové patky pomocí ocelových čepů třídy pevnosti 5.8 a průměru 50 mm. Čep je k vazníku připojen pomocí vsazeného ocelového plechu, který je připojen k patě vazníku pomocí 12 svorníků třídy pevnosti 5.8 a průměru 24 mm. Tlaková normálová síla je přenášena čelní deskou z oceli třídy pevnosti S355 tloušťky 35 mm. Čepové ložisko je ukotveno k železobetonové patce pomocí patního plechu tloušťky 20 mm. Tahovou složku normálové síly, při nejnepříznivější kombinaci vyhodnocené pro toto zatížení, přenášejí 4 kotevní šrouby třídy pevnosti 5.8 a průměru 24 mm.



Obr. 56 – Schéma připojení vazníku na ŽB patku

Vnitřní síly působící ve spoji:

Pro návrh a posouzení přípoje jsou uvažovány nejnepříznivější kombinace pro tlakové namáhání a namáhání smykem. Byla taktéž zjištěna nejvyšší hodnota tahové síly pro posouzení kotevních šroubů.

$$N_{ed,min} = -263,98 \text{ kN}$$

$$N_{ed,max} = 90,15 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 69,12 \text{ kN}$$

Návrh a posouzení čelní desky a otlačení dřeva od čelní desky:

Rozměry a materiál čelní desky:

$$t_d = 35 \text{ mm} \quad \text{-tloušťka čelní desky}$$

$$h_d = 700 \text{ mm} \quad \text{-výška čelní desky}$$

$$b_d = 200 \text{ mm} \quad \text{-šířka čelní desky}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu čelní desky}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti čelní desky}$$

Plocha otlačení dřeva:

$$A_d = b_d \cdot h_d = 0,2 \cdot 0,7 = 0,14 \text{ m}^2$$

Normálové napětí rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_d} = \frac{263,98}{0,14} = 1,89 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,89}{14,84} \leq 1$$

$$0,13 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Rozměry a materiál styčnickového plechu:

$t_p = 15 \text{ mm}$	-tloušťka styčnickového plechu
$h_p = 700 \text{ mm}$	-výška styčnickového plechu
$b_p = 440 \text{ mm}$	-šířka styčnickového plechu
$f_y = 355 \text{ MPa}$	-mez kluzu styčnickového plechu
$f_u = 510 \text{ MPa}$	-mez pevnosti styčnickového plechu

Ohybový moment vznikající v čelní desce od normálové síly:

$$t_1 = \frac{(b-t_p)}{2} = \frac{(200-15)}{2} = 92,5 \text{ mm} \quad \text{--polovina šířky vazníku}$$

$$W_{y,p} = \frac{1}{6} \cdot \frac{b_d}{2} \cdot t_d^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{200}{2} \cdot 35^2 = 20416,67 \text{ mm}^3$$

$$M_y = \frac{N_d}{2} \cdot \left(\frac{t_p}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{263,98}{2} \cdot \left(\frac{15}{2} + \frac{92,5}{2} \right) = 7,09 \text{ kNm}$$

Napětí za ohybu v čelní desce:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{7,09 \cdot 10^3}{20,417 \cdot 10^{-6}} = 347,48 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí za ohybu:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{y,d}} \leq 1$$

$$\frac{347,48}{355,00} \leq 1$$

$$0,98 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení svorníkového spoje:

$d = 24 \text{ mm}$	-průměr svorníků
$A_s = 353 \text{ mm}^2$	-průřezová plocha svorníků
$d_0 = 26 \text{ mm}$	-průměr otvorů pro svorníky
$n = 12 \text{ ks}$	-počet svorníků ve spoji
$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$	-mez kluzu svorníků

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti svorníků}$$

Osové vzdálenosti svorníků:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 96 \text{ mm} \quad \text{-navrženo } 100 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 96 \text{ mm} \quad \text{-navrženo } 110 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7d; 80) = 168 \text{ mm} \quad \text{-navrženo } 170 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = 3 \cdot d = 72 \text{ mm} \quad \text{-navrženo } 75 \text{ mm}$$

Excentricita vznikající od smykové síly:

$$e = 380 \text{ mm}$$

Zatížení na jeden svorník:

$$F_v = \frac{V_d}{n} = \frac{69,12}{12} = 5,76 \text{ kN}$$

Síla vznikající od excentricity zatížení:

Vzdálenosti jednotlivých poloměrů otáčení svorníků r_i byly vztaženy ke středu styčnickové desky, který odpovídá středu otáčení:

$$F_m = \frac{V_d \cdot e \cdot r_3}{4 \cdot r_1^2 + 4 \cdot r_2^2 + 4 \cdot r_3^2} = \frac{69,12 \cdot 0,380 \cdot 0,280}{4 \cdot 0,08^2 + 4 \cdot 0,174^2 + 4 \cdot 0,280^2} = 15,98 \text{ kN}$$

$$F_{v,ed} = \sqrt{F_v^2 + F_m^2} = \sqrt{5,76^2 + 15,98^2} = 16,99 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 410 = 25,51 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,71$$

$$\alpha = 73^\circ$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{1,71 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,51}{1,71 \cdot \sin^2 73^\circ + \cos^2 73^\circ} = 15,49 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti svorníku:

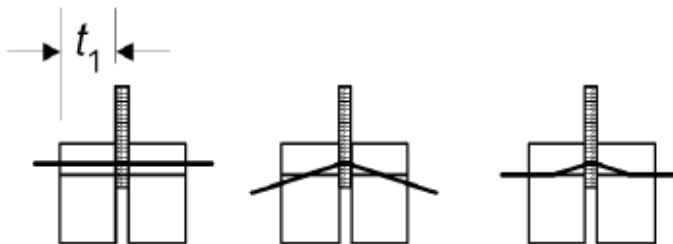
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 24^{2,6} = 581621,55 \text{ N/mm}$$

Charakteristická únosnost jednoho svorníku:

Jedná se o dvojstřížný spoj, kde ocelová deska působí jako střední prvek.

Tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = \frac{(b - t_p)}{2} = 92,5 \text{ mm}$$



Obr. 57 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed [4]

Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,rk} = \left(\begin{array}{c} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \frac{\sqrt{M_{y,rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d}}{f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d} \end{array} \right)$$
$$F_{v,rk} = \left(\begin{array}{c} 15,49 \cdot 92,5 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 581621,55}{15,49 \cdot 24 \cdot 92,5^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \frac{\sqrt{581621,55 \cdot 15,49 \cdot 24}}{15,49 \cdot 92,5 \cdot 24} \end{array} \right)$$

$$F_{v,rk} = \left(\begin{array}{c} 22,45 \text{ kN} \\ 33,82 \text{ kN} \\ 34,39 \text{ kN} \end{array} \right) = 22,45 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho svorníku pro jeden stříh:

$$F_{v,rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{22,45}{1,30} = 12,08 \text{ kN}$$

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{0^\circ,ef} = \min \left\{ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{110}{13 \cdot 24}} = 1,44 \right\}$$

$$n_{0^\circ,ef} = 1,44$$

$$n_{90^\circ,ef} = 2$$

Pro 12 svorníků:

$$n_{0^\circ,ef} = 8,64$$

$$n_{90^\circ,ef} = 13$$

Interpolací mezi těmito dvěma hodnotami se zjistila přesná hodnotu pro úhel 73° .

$$n_{73^\circ,ef} = 11,37$$

Posouzení únosnosti svorníků:

$$\frac{F_{v,ed} \cdot n}{F_{v,Rd} \cdot n_{73^\circ,ef}} \leq 1$$

$$\frac{16,99 \cdot 12}{2 \cdot 12,08 \cdot 11,37} \leq 1$$

$$0,74 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti svorníků ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 112,96 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{16,99}{112,96} \leq 1$$

$$0,15 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{510} = 1,57 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{75}{3 \cdot 26} = 0,96 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{110}{3 \cdot 26} - 0,25 = 1,41 \end{array} \right\} = 0,96$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{170}{26} - 1,7 = 16,61 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 = 3,68 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,96 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} = 352,51 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{16,99}{352,51} \leq 1,0$$

$$0,05 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky se styčnickovým plechem:

$$a = 5 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 700 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = 25 + 55 + 45 + 35 = 160 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 700 \cdot 5 = 5600 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{69,12}{5600} = 12,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{69,12 \cdot 160}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 700^2} + \frac{263,98}{5600} = 16,93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{16,93}{\sqrt{2}} = 11,97 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{11,97 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

0,03 ≤ 1,0 Vyhovuje

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{11,97^2 + 3 \cdot (11,97^2 + 12,34^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

32,10 MPa ≤ 453,33 MPa Vyhovuje

Návrh a posouzení čepového ložiska:

Čep - Třída pevnosti 5.8

$f_{y,p} = 400 \text{ MPa}$ -mez kluzu čepu

$f_{u,p} = 500 \text{ MPa}$ -mez pevnosti čepu

$\gamma_{M2} = 1,25$

$\gamma_{M0} = 1,00$

Plechý – ocel třídy S355

$f_y = 355 \text{ MPa}$ -mez kluzu čepových plechů

$f_u = 510 \text{ MPa}$ -mez pevnosti čepových plechů

Výsledná síla zatěžující čep:

$$F_{v,ed} = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{263,98^2 + 69,12^2} = 272,88 \text{ kN}$$

Tloušťka čepového plechu:

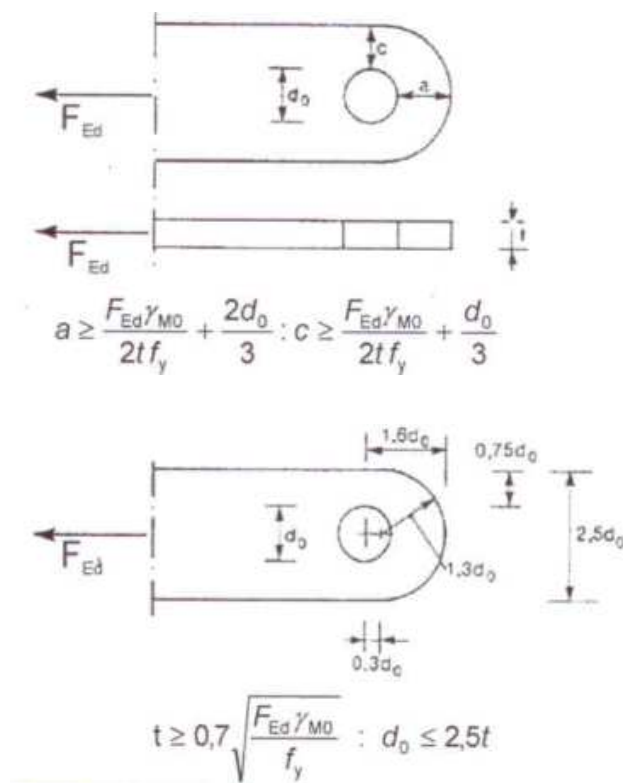
$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{355}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{272,88 \cdot 1,0}{355}} = 19,41 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 20 mm}$$

Návrh geometrie plechu:

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 50 mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{272,88 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 50}{3} = 52,55 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 55 mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{272,88 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355} + \frac{50}{3} = 35,88 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 50 mm}$$



Obr. 58 – Návrh geometrie čepového plechu [23]

Plocha průřezu čepu:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 25^2 = 1963,50 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{500 \cdot 1963,5^2}{1,25} = 480,66 \text{ kN}$$

Posouzení čepu na namáhání střihem:

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{272,88}{480,66} \leq 1$$

$$0,57 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení čepu a plechu v otlačení:

$$F_{b,Rd,\check{c}ep} = 1,5 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 20 \cdot 50 \cdot \frac{355}{1,0} = 532,5 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd,plech} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 50 \cdot \frac{355}{1,0} = 1065 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd,\check{c}ep}} \leq 1$$

$$\frac{272,88}{532,50} \leq 1$$

$$0,51 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost čepu v ohybu:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 50^3}{32} = 12271,85 \text{ mm}^3$$

$$t_3 = 2 \text{ mm} \quad \text{-vzdálenost mezi plechy}$$

$$M_{ed} = \frac{F_{v,ed}}{8} \cdot (t_1 + 2 \cdot t_2 + 4 \cdot t_3) = \frac{272,88}{8} \cdot (20 + 2 \cdot 20 + 4 \cdot 2) = 2,32 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 12271,85 \cdot \frac{400}{1,00} = 6,53 \text{ kNm}$$

Posouzení čepu na ohyb a na kombinaci ohybu a střihu:

$$\frac{M_{ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{2,32}{6,53} \leq 1$$

$$0,35 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left(\frac{M_{ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{ed}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{2,32}{6,53}\right)^2 + \left(\frac{272,88}{480,66}\right)^2 \leq 1$$

$$0,39 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky k čepovému plechu:

$$a = 5 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 240 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = 25 + 55 + 45 = 125 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 240 \cdot 5 = 2400 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{69,12}{2400} = 28,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{69,12 \cdot 125}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 240^2} + \frac{263,98}{2400} = 199,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{199,99}{\sqrt{2}} = 141,42 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{141,42 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$0,35 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{141,42^2 + 3 \cdot (141,42^2 + 28,80^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$287,19 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čepových plechů k patnímu plechu:

$$a = 5 \text{ mm}$$

-účinná výška svaru

$$l = 240 \text{ mm}$$

-účinná délka svaru

$$\beta_w = 0,9$$

-korekční faktor pro ocel třídy S355

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = 25 + 55 + 45 = 125 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 240 \cdot 5 = 2400 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Síly zatěžující svar:

Vzhledem k tomu, že se napojují dva plechy na patní plech, síly se rovnoměrně rozloží do čtyř koutových svarů.

$$V_{d,1} = \frac{V_d}{2} = \frac{69,12}{2} = 35,56 \text{ kN}$$

$$N_{d,1} = \frac{N_d}{2} = \frac{263,98}{2} = 131,99 \text{ kN}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{35,56}{2400} = 14,40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{35,56 \cdot 125}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 240^2} + \frac{131,99}{2400} = 100,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{100,00}{\sqrt{2}} = 70,70 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{70,70 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$0,17 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{70,70^2 + 3 \cdot (70,70^2 + 14,40^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$143,60 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení kotevních šroubů ŽB patky:

$d = 24 \text{ mm}$ -průměr kotevních šroubů

$A_s = 353 \text{ mm}^2$ -průřezová plocha šroubů

$d_0 = 26 \text{ mm}$ -průměr otvorů

$n = 4$ -počet kotevních šroubů

$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$ -mez kluzu kotevních šroubů

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$ -mez pevnosti kotevních šroubů

$\gamma_{M2} = 1,25$

$k_2 = 0,63$ -zapuštěné šrouby

$e_1 = 100 \text{ mm}$ -vzdálenost od okraje rovnoběžně se zatížením

$p_1 = 300 \text{ mm}$ -vzdálenost mezi šrouby rovnoběžně se zatížením

$e_2 = 85 \text{ mm}$ -vzdálenost od okraje kolmo na zatížení

$p_2 = 230 \text{ mm}$ -vzdálenost mezi šrouby kolmo na zatížení

Příčné zatížení jednoho kotevního šroubu:

$$F_{v,ed,1} = \frac{F_{v,ed}}{n} = \frac{69,12}{4} = 17,28 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho kotevního šroubu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,6 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti kotevních šroubů ve střihu:

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{17,28}{70,60} \leq 1$$

$$0,24 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{100}{3 \cdot 26} = 1,28 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{300}{3 \cdot 26} - 0,25 = 3,60 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{85}{26} - 1,7 = 7,45 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{230}{26} - 1,7 = 10,68 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} = 360 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{17,28}{360,00} \leq 1,0$$

$$0,05 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost jednoho kotevního šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M0}} = \frac{0,63 \cdot 500 \cdot 353}{1,00} = 111,20 \text{ kN}$$

Posouzení kotevních šroubů na tah:

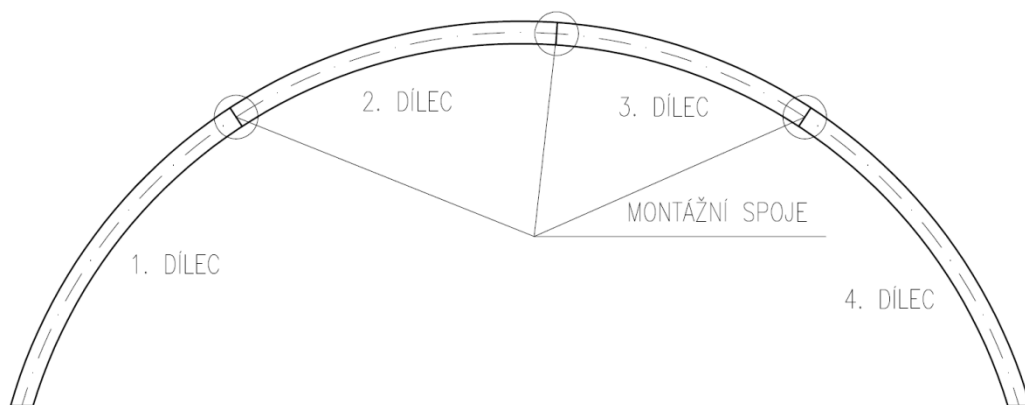
$$\frac{N_{max,ed}}{F_{t,Rd} \cdot n} \leq 1,0$$

$$\frac{90,15}{111,2 \cdot 4} \leq 1,0$$

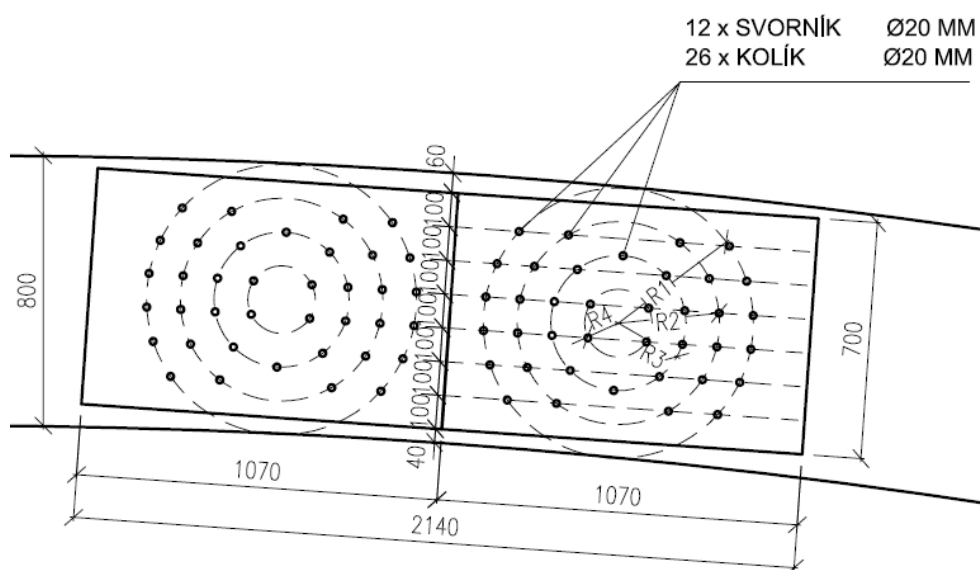
0,20 ≤ 1,0 *Vyhovuje*

5.9.6 Montážní spoje vazníku

Další nedílnou součástí konstrukčního řešení a statického posouzení jsou montážní spoje vazníku. Tyto spoje vyplývají z důvodů omezené velikosti dílců pro přepravu na staveniště. Jednotlivé dílce vazníku nepřesahují délku 16 m a je možno je přepravovat za normálních podmínek. Tyto spoje byly navrženy tak, aby nezasahovaly svými rozměry do dalších konstrukčních částí, jako je připojení vaznice na vazník a připojení táhel na vazník. Ve vazníku se nacházejí celkem 3 montážní spoje stejného typu. Spoje jsou navrženy na nejhorší možné kombinace zatěžovacích stavů. Návrh spoje je proveden pomocí vsazeného plechu, který je připevněn k oběma částem vazníku pomocí svorníků a kolíků třídy pevnosti 5.8, průměru 24 mm.



Obr. 59 – Poloha montážních spojů



Obr. 60 – Schéma montážního spoje

Na jeden spojovaný prvek bude celkem použito 12 svorníků průměru 24 mm a 24 kolíků průměru 24 mm.

$r_1 = 400 \text{ mm}$ -8 kolíků, 4 svorníky – celkem 12 ks

$r_2 = 300 \text{ mm}$ -8 kolíků, 4 svorníky – celkem 12 ks

$r_3 = 200 \text{ mm}$ -6 kolíků, 4 svorníky – celkem 10 ks

$r_4 = 100 \text{ mm}$ -4 kolíky – celkem 4 ks

Návrh a posouzení spojovacích prostředků:

$d = 24 \text{ mm}$ -průměr kolíků a svorníků

$A_s = 353 \text{ mm}^2$ -průřezová plocha kolíků a svorníků

$d_0 = 26 \text{ mm}$ -průměr otvorů pro spojovací prostředky

$n = 38 \text{ ks}$ -počet kolíků a svorníků ve spoji

$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$ -mez kluzu spojovacích prostředků

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$ -mez pevnosti spojovacích prostředků

$\gamma_{M2} = 1,25$

Osové vzdálenosti spojů:

$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = 96 \text{ mm}$ -navrženo 100 mm

$a_2 = 4 \cdot d = 96 \text{ mm}$ -navrženo 100 mm

$a_{3,t} = \max(7d; 80) = 168 \text{ mm}$ -navrženo 170 mm

$a_{4,t} = 3 \cdot d = 72 \text{ mm}$ -navrženo 100 mm

Návrhové vnitřní síly působící ve spoji:

Pro návrh a posouzení spoje jsou uvažovány nejnepříznivější kombinace zatěžovacích stavů pro ohybové, tahové a smykové namáhání v místě spojení. Tlakové namáhání je přeneseno kontaktem jednotlivých dílců.

$M_{ed} = 191,26 \text{ kNm}$

$N_{ed} = 54,48 \text{ kN}$

$V_{ed} = 32,32 \text{ kN}$

Zatížení kolíků a svorníků:

Zatížení od ohybového momentu:

$$F_M = M_{ed} \cdot \frac{r_1}{\sum n \cdot r_i^2} = 191,26 \cdot \frac{0,4}{12 \cdot 0,4^2 + 12 \cdot 0,3^2 + 10 \cdot 0,2^2 + 4 \cdot 0,1^2} = 22,24 \text{ kN}$$

$$F_V = \frac{V_{ed}}{n} = \frac{33,32}{38} = 0,85 \text{ kN}$$

$$F_N = \frac{N_{ed}}{n} = \frac{54,48}{38} = 1,43 \text{ kN}$$

Celkové zatížení jednoho kolíku v místě spoje:

$$F_d = \sqrt{(F_M + F_V)^2 + F_N^2} = \sqrt{(22,24 + 0,85)^2 + 1,43^2} = 22,30 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 410 = 25,55 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,71$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_M + F_V}{F_N}\right) = \arctan\left(\frac{22,40 + 0,85}{1,43}\right) = 86,45^\circ$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,55}{1,71 \cdot \sin^2 86,45^\circ + \cos^2 86,45^\circ} = 14,97 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti svorníku:

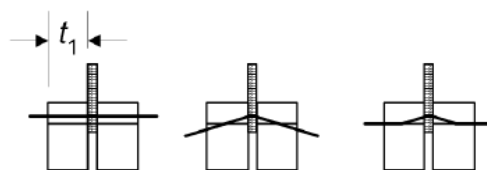
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 24^{2,6} = 581621,5 \text{ N/mm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku:

Jedná se o dvojstřížný spoj, kde ocelová deska je jako střední prvek.

Tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = \frac{(b - t_p)}{2} = \frac{(200 - 15)}{2} = 92,5 \text{ mm}$$



Obr. 61 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed [4]

Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} \\ f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \end{pmatrix}$$

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} 14,97 \cdot 92,5 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 581621,5}{14,97 \cdot 24 \cdot 92,5^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{581621,5 \cdot 14,97 \cdot 24} \\ 14,97 \cdot 92,5 \cdot 24 \end{pmatrix}$$

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} 21,95 \text{ kN} \\ 33,25 \text{ kN} \\ 33,23 \text{ kN} \end{pmatrix} = 21,95 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho svorníku pro jeden stříh:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{21,95}{1,30} = 11,81 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti spojovacích prostředků:

$$\frac{F_d}{2 \cdot F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{22,30}{2 \cdot 11,81} \leq 1$$

$$0,94 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti kolíků a svorníků ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,6 \text{ kN}$$

$$\frac{F_d}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{13,77}{70,60} \leq 1$$

$$0,32 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{170}{3 \cdot 26} = 2,18 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{100}{3 \cdot 26} - 0,25 = 1,03 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 = 9,07 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 = 3,68 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} = 359,86 \text{ kN}$$

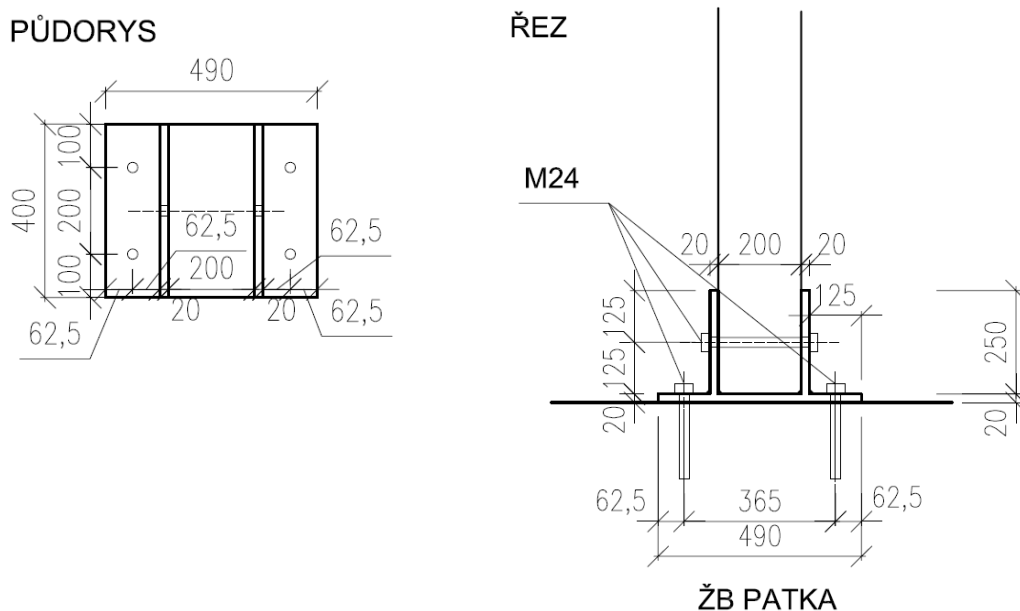
$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{22,30}{359,86} \leq 1,0$$

$$0,06 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.9.7 Uložení sloupku do ŽB patky

Uložení dřevěných sloupků do ŽB patek je vyřešeno pomocí ocelových plechů třídy pevnosti S355, tloušťky 20 mm a jednoho svorníku třídy pevnosti 5.8, průměru 24 mm. Přípoj je navržen tak, aby odpovídal kloubovému uložení. Jednotlivé plechy jsou k sobě připojeny pomocí koutových svarů. Tlaková síla je přenesena kontaktem. Tah ve sloupku nevzniká v žádné z kombinací zatěžovacích stavů. Přípoj je proto nutno navrhnout pouze na působící smykovou složku zatížení V_{ed} .



Obr. 62 – Schéma připojení sloupku na ŽB patku

Návrhová posouvající síla v místě uložení:

$$V_{ed} = 15,40 \text{ kN}$$

Návrh a posouzení spojovacího prostředku:

$d = 24 \text{ mm}$ -průměr svorníku

$A_s = 353 \text{ mm}^2$ -průřezová plocha svorníku

$d_0 = 26 \text{ mm}$ -průměr otvoru pro svorník

$n = 1 \text{ ks}$ -počet svorníků ve spoji

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu svorníku}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti svorníku}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 410 = 25,55 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,66$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,55}{1,66 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 15,51 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti svorníku:

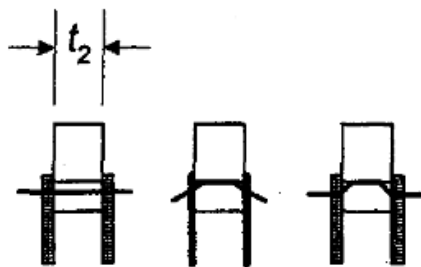
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 24^{2,6} = 581621,5 \text{ N/mm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku:

Jedná se o dvojstřížný spoj, kde dřevěný prvek je jako střední prvek.

Tloušťka dřevěného prvku:

$$t_2 = 200 \text{ mm} \quad \text{-šířka sloupku}$$



Obr. 63 – Dvojstřížný spoj s vnějšími ocelovými deskami [4]

Tlusté ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů:

$$F_{v,Rk} = \left(\frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d}{2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} \right)$$

$$F_{v,rk} = \left(\frac{0,5 \cdot 25,55 \cdot 200 \cdot 24}{2,3 \cdot \sqrt{581621,5 \cdot 25,55 \cdot 24}} \right)$$

$$F_{v,rk} = \left(\frac{36,94 \text{ kN}}{33,71 \text{ kN}} \right) = 33,71 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho svorníku:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{33,71}{1,30} = 18,15 \text{ kN}$$

Posouzení svorníkového spoje:

$$\frac{V_{ed}}{2 \cdot F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{15,40}{2 \cdot 18,15} \leq 1$$

$$0,42 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutových svarů:

Přivaření bočních plechů je provedeno pomocí koutových svarů.

$$a = 4 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 400 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = \frac{b}{2} + t_p = \frac{200}{2} + 20 = 120 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 400 \cdot 4 = 3200 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Síly zatěžující svar:

Vzhledem k tomu, že se napojují dva plechy na patní plech, síly se rovnoměrně rozloží do čtyř koutových svarů.

$$V_{d,1} = \frac{V_d}{2} = \frac{15,40}{2} = 7,70 \text{ kN}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{7,70}{3200} = 2,40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} = \frac{7,70 \cdot 120}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 400^2} = 4,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{4,33}{\sqrt{2}} = 3,06 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{3,06 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$0,01 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{4,33^2 + 3 \cdot (4,33^2 + 2,40^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$7,41 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení kotevních šroubů ŽB patky:

$$d = 24 \text{ mm} \quad \text{-průměr kotevních šroubů}$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha šroubů}$$

$$d_0 = 26 \text{ mm} \quad \text{-průměr otvorů}$$

$$n = 4 \text{ ks} \quad \text{-počet kotevních šroubů}$$

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu kotevních šroubů}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti kotevních šroubů}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$k_2 = 0,63 \quad \text{-zapuštěné šrouby}$$

$e_1 = 100 \text{ mm}$	-vzdálenost od okraje rovnoběžně se zatížením
$p_1 = 200 \text{ mm}$	-vzdálenost mezi šrouby rovnoběžně se zatížením
$e_2 = 62,5 \text{ mm}$	-vzdálenost od okraje kolmo na zatížení
$p_2 = 325 \text{ mm}$	-vzdálenost mezi šrouby kolmo na zatížení

Šrouby jsou namáhány pouze příčným zatížením od posouvající síly.

Příčné zatížení jednoho kotevního šroubu:

$$F_{v,ed,1} = \frac{F_{v,ed}}{n} = \frac{15,40}{4} = 3,85 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho kotevního šroubu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,6 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti kotevních šroubů ve střihu:

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{3,85}{70,60} \leq 1$$

$$0,05 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{100}{3 \cdot 26} = 1,28 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{200}{3 \cdot 26} - 0,25 = 2,31 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{62,5}{26} - 1,7 = 5,03 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{325}{26} - 1,7 = 15,8 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otlačení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} = 360 \text{ kN}$$

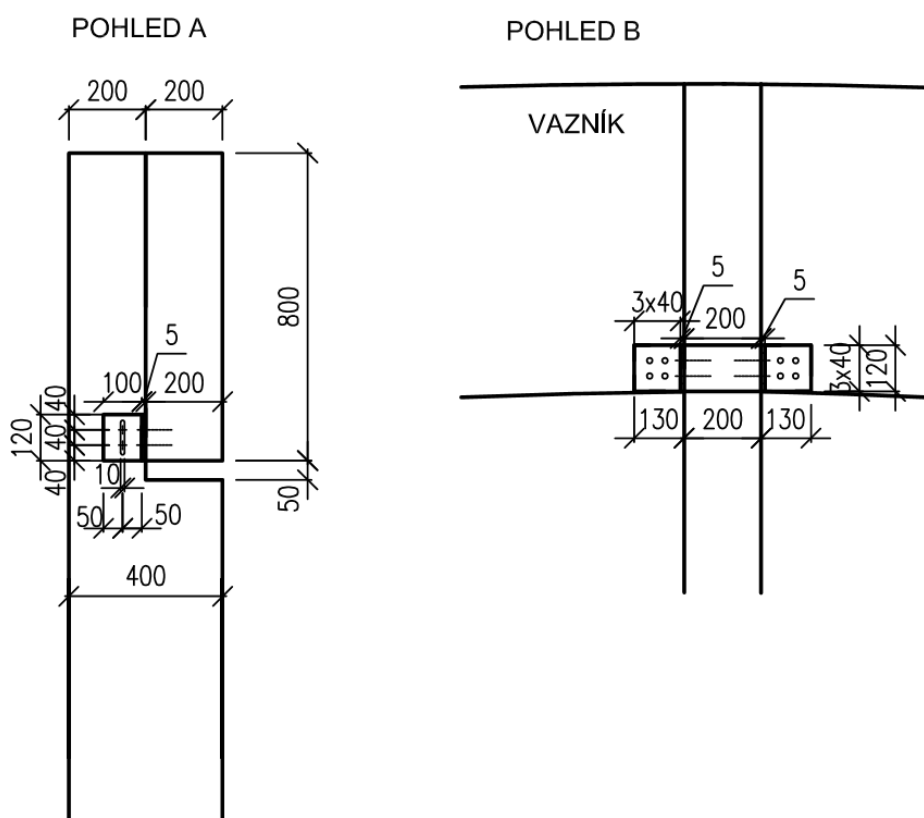
$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{15,40}{360,00} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,04 \leq 1,0} \qquad \mathbf{Vyhovuje}$$

5.9.8 Připojení sloupku na vazník

Návrh připojení sloupků na vazníky je proveden pomocí posuvného uložení ve vertikálním směru. Je to z toho důvodu, aby měl vazník možnost volného průhybu a také nezatěžoval zbytečně sloupky přidavnou tlakovou silou. Spoj je řešen pomocí ocelových plechů třídy pevnosti S355, které jsou připojeny k dřevěným prvkům pomocí vrutů třídy pevnosti 5.8, délky 100 mm a průměru 12 mm.



Obr. 64 – Schéma připojení sloupku na vazník

Návrhová posouvající síla v místě napojení na vazník:

$$V_{ed} = 15,40 \text{ kN}$$

Spoj byl navržen na vytažení vrutů z vazníku a na vodorovný stříh v místě napojení na sloup.

Návrh a posouzení spojovacího prostředku (spoj styčnickový plech-sloupek):

$d = 12 \text{ mm}$	-průměr vrutu
$t_p = 5 \text{ mm}$	-tloušťka styčnickového plechu
$t_1 = 95 \text{ mm}$	-délka vniku hrotu vrutu
$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$	-průřezová plocha vrutu pod hlavičkou
$n = 4 \text{ ks}$	-počet vrutů ve spoji
$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$	-mez kluzu vrutu
$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$	-mez pevnosti vrutu
$\gamma_{M2} = 1,3$	-součinitel materiálu pro spoje
$\gamma_{M2} = 1,25$	-součinitel materiálu pro ocel

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 410 = 29,59 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{29,59}{1,53 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 19,34 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti vrutu:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 12^{2,6} = 95931,78 \text{ N/mm}$$

Tenká deska jednostřížně namáhaná:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d}} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot 19,34 \cdot 95 \cdot 12}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 95931,78 \cdot 19,34 \cdot 12}} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \{ 8,82 \text{ kN} \} = 7,67 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{7,67}{1,30} = 4,13 \text{ kN}$$

Posouzení vrutů:

$$\frac{V_{ed}}{4 \cdot F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{15,40}{4 \cdot 4,13} \leq 1$$

$$0,93 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení spojovacího prostředku (spoj styčnickový plech-vazník):

$d = 12 \text{ mm}$	-průměr vrutu
$t_p = 5 \text{ mm}$	-tloušťka styčnickového plechu
$t_1 = 95 \text{ mm}$	-délka vniku hrotu vrutu
$l_{ef} = 83 \text{ mm}$	-délka vniku hrotu zmenšená o jeden průměr závitu
$n = 8 \text{ ks}$	-počet vrutů ve spoji
$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$	-mez kluzu vrutu
$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$	-mez pevnosti vrutu
$\gamma_{M2} = 1,3$	-součinitel materiálu pro spoje
$\gamma_{M2} = 1,25$	-součinitel materiálu pro ocel

Účinný počet vrutů v únosnosti na vytažení:

$$n_{ef} = n^{0,9} = 8^{0,9} = 6,50$$

Charakteristická pevnost na vytažení pod úhlem k vláknům:

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 410^{1,5} = 29,89 \text{ MPa}$$

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{29,89}{\sin^2 20^\circ + 1,5 \cdot \cos^2 20^\circ} = 19,92 \text{ MPa}$$

Charakteristická únosnost na vytažení osově zatíženého vrutu:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 6,50 \cdot (\pi \cdot 12 \cdot 83)^{0,8} \cdot 19,92 = 81,01 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{81,01}{1,30} = 43,62 \text{ kN}$$

Posouzení vrutů:

$$\frac{V_{ed}}{F_{ax,\alpha,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{15,40}{43,62} \leq 1$$

$$0,35 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení oslabeného průřezu sloupku na smyk:

$$b = 0,2 \text{ m} \quad \text{-šířka průřezu sloupku}$$

$$h_{osl.} = 0,2 \text{ m} \quad \text{-oslabená výška průřezu sloupku}$$

Účinná šířka prvku s vlivem trhlin:

$$k_{cr} = 0,67 \quad \text{- pro prvky z lepeného lamelového dřeva}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,20 = 0,13 \text{ m}$$

$$A_{osl.} = b \cdot h_{osl.} = 0,13 \cdot 0,2 = 0,03 \text{ m}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{osl.}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{15,40}{0,03} = 0,89 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,89}{1,79} \leq 1$$

$$0,50 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.10 Návrh a posudek spojů varianty B

Návrh některých spojů u *varianty B* je totožný s *variantou A* z hlediska stejného působícího zatížení v místě napojení jednotlivých prvků. Pro úplnost jsou tyto kapitoly uvedeny i zde a odkazují na předešlé výpočty.

5.10.1 Návrh příčných střešních ztužidel

Návrh totožný s variantou A. Kapitola 5.9.1.

5.10.2 Připojení táhla na vazník

Návrh totožný s variantou A. Kapitola 5.9.2.

5.10.3 Připojení vaznice na vazník

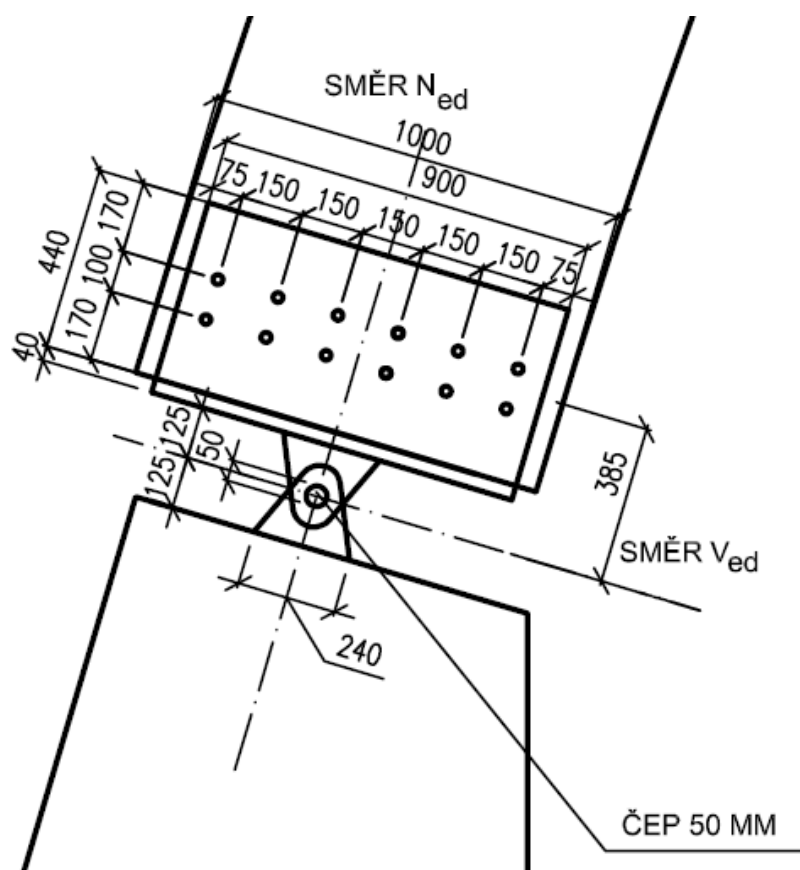
Návrh totožný s variantou A. Kapitola 5.9.3.

5.10.4 Připojení paždíku ke sloupku

Návrh totožný s variantou A. Kapitola 5.9.4.

5.10.5 Uložení vazníku na ŽB patku

Vazníky jsou uloženy na železobetonové patky pomocí ocelových čepů třídy pevnosti 5.8 a průměru 50 mm. Čepové plechy jsou k vazníku připojeny pomocí vsazeného ocelového plechu, který je připojen k patě dřevěného vazníku pomocí 12 svorníků třídy pevnosti 5.8 a průměru 24 mm. Tlaková normálová síla je přenášena čelní deskou z oceli třídy pevnosti S355, tloušťky 35 mm. Čepové ložisko je ukotveno k železobetonové patce pomocí patního plechu tloušťky 20 mm. Tahovou složku normálové síly, při nejnepříznivější kombinaci vyhodnocené pro toto zatížení, přenášejí 4 kotevní šrouby třídy pevnosti 5.8 a průměru 24 mm.



Obr. 65 – Schéma připojení vazníku varianty B na ŽB patku

Vnitřní síly působící ve spoji:

Pro návrh a posouzení přípoje jsou uvažovány nejnepříznivější kombinace pro tlakové namáhání a namáhání smykem. Byla taktéž zjištěna nejvyšší hodnota tahové síly pro posouzení kotevních šroubů.

$$N_{ed,min} = -274,74 \text{ kN}$$

$$N_{ed,max} = 89,46 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = -79,94 \text{ kN}$$

Návrh a posouzení čelní desky a otláčení dřeva od čelní desky:

Rozměry a materiál čelní desky:

$$t_d = 40 \text{ mm} \quad \text{-tloušťka čelní desky}$$

$$h_d = 900 \text{ mm} \quad \text{-výška čelní desky}$$

$b_d = 200 \text{ mm}$ -šířka čelní desky

$f_y = 355 \text{ MPa}$ -mez kluzu čelní desky

$f_u = 510 \text{ MPa}$ -mez pevnosti čelní desky

Plocha otlačení dřeva:

$$A_d = b_d \cdot h_d = 0,2 \cdot 0,9 = 0,18 \text{ m}^2$$

Normálové napětí rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_d} = \frac{274,74}{0,18} = 1,53 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,53}{14,84} \leq 1$$

0,10 ≤ 1,0 Vyhovuje

Rozměry a materiál vloženého styčnickového plechu:

$t_p = 15 \text{ mm}$ -tloušťka styčnickového plechu

$h_p = 900 \text{ mm}$ -výška styčnickového plechu

$b_p = 440 \text{ mm}$ -šířka styčnickového plechu

$f_y = 355 \text{ MPa}$ -mez kluzu styčnickového plechu

$f_u = 510 \text{ MPa}$ -mez pevnosti styčnickového plechu

Ohybový moment vznikající v čelní desce od excentricity normálové síly:

$$t_1 = \frac{(b-t_p)}{2} = \frac{(200-15)}{2} = 92,5 \text{ mm} \quad \text{--polovina šířky vazníku}$$

$$W_{y,p} = \frac{1}{6} \cdot \frac{b_d}{2} \cdot t_d^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{200}{2} \cdot 40^2 = 26666,67 \text{ mm}^3$$

$$M_y = \frac{N_d}{2} \cdot \left(\frac{t_p}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{274,74}{2} \cdot \left(\frac{15}{2} + \frac{92,5}{2} \right) = 7,38 \text{ kNm}$$

Napětí za ohybu v čelní desce:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{7,38 \cdot 10^3}{26,67 \cdot 10^{-6}} = 276,71 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí za ohybu:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{y,d}} \leq 1$$

$$\frac{276,71}{355,00} \leq 1$$

0,78 ≤ 1,0 Vyhovuje

Návrh a posouzení svorníkového spoje:

$d = 24 \text{ mm}$ -průměr svorníků

$A_s = 353 \text{ mm}^2$ -průřezová plocha svorníků

$d_0 = 26 \text{ mm}$ -průměr otvorů pro svorníky

$n = 12 \text{ ks}$ -počet svorníků ve spoji

$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$ -mez kluzu svorníků

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$ -mez pevnosti svorníků

Osové vzdálenosti svorníků:

$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = 96 \text{ mm}$ -navrženo 100 mm

$a_2 = 4 \cdot d = 96 \text{ mm}$ -navrženo 150 mm

$a_{3,t} = \max(7d; 80) = 168 \text{ mm}$ -navrženo 170 mm

$a_{4,t} = 3 \cdot d = 72 \text{ mm}$ -navrženo 75 mm

Excentricita vznikající od smykové síly:

$e = 385 \text{ mm}$

Zatížení na jeden svorník:

$$F_v = \frac{V_d}{n} = \frac{79,94}{12} = 6,66 \text{ kN}$$

Síla vznikající od excentricity zatížení:

Vzdálenosti jednotlivých poloměrů otáčení svorníků r_i byly vztaženy ke středu styčnickové desky, který odpovídá středu otáčení:

$$F_m = \frac{V_d \cdot e \cdot r_3}{4 \cdot r_1^2 + 4 \cdot r_2^2 + 4 \cdot r_3^2} = \frac{79,94 \cdot 0,385 \cdot 0,378}{4 \cdot 0,09^2 + 4 \cdot 0,23^2 + 4 \cdot 0,378^2} = 14,27 \text{ kN}$$

$$F_{v,ed} = \sqrt{F_v^2 + F_m^2} = \sqrt{6,66^2 + 14,27^2} = 15,75 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 410 = 25,51 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,71$$

$$\alpha = 73^\circ$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,51}{1,71 \cdot \sin^2 73^\circ + \cos^2 73^\circ} = 15,49 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti svorníku:

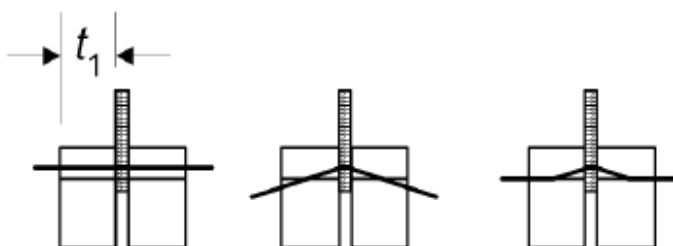
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 24^{2,6} = 581621,5 \text{ N/mm}$$

Charakteristická únosnost jednoho svorníku:

Jedná se o dvojstřížný spoj, kde ocelová deska působí jako střední prvek.

Tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = \frac{(b - t_p)}{2} = 92,5 \text{ mm}$$



Obr. 66 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed [4]

Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} \\ f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \end{pmatrix}$$

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} 15,49 \cdot 92,5 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 581621,5}{15,49 \cdot 24 \cdot 92,5^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{581621,5 \cdot 15,49 \cdot 24} \\ 15,49 \cdot 92,5 \cdot 24 \end{pmatrix}$$

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} 22,45 \text{ kN} \\ 33,82 \text{ kN} \\ 34,39 \text{ kN} \end{pmatrix} = 22,45 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho svorníku pro jeden stříh:

$$F_{v,rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{22,45}{1,30} = 12,08 \text{ kN}$$

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{0^\circ,ef} = \min \left\{ n = 2 \right. \\ \left. n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 24}} = 1,40 \right\}$$

$$n_{0^\circ,ef} = 1,40$$

$$n_{90^\circ,ef} = 2$$

Pro 12 svorníků:

$$n_{0^\circ,ef} = 8,42$$

$$n_{90^\circ,ef} = 12$$

Interpolací mezi těmito hodnotami se zjistila hodnota pro úhel 73°.

$$n_{73^\circ,ef} = 11,32$$

Posouzení únosnosti svorníků:

$$\frac{F_{v,ed} \cdot n}{2 \cdot F_{v,Rd} \cdot n_{73^\circ,ef}} \leq 1$$

$$\frac{15,75 \cdot 12}{2 \cdot 12,08 \cdot 11,32} \leq 1$$

0,70 ≤ 1,0 **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti svorníků ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} = 112,96 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{15,75}{112,96} \leq 1$$

0,14 ≤ 1,0 **Vyhovuje**

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{510} = 1,57 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{75}{3 \cdot 26} = 0,96 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{150}{3 \cdot 26} - 0,25 = 67 \end{array} \right\} = 0,96$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{170}{26} - 1,7 = 16,61 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 = 3,68 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,96 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} = 352,51 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{15,75}{352,51} \leq 1,0$$

$$0,05 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky se styčnickovým plechem:

$$a = 4 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 900 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = 25 + 55 + 45 + 40 = 165 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 900 \cdot 4 = 7200 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{79,94}{7200} = 11,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{79,94 \cdot 165}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 900^2} + \frac{274,74}{7200} = 12,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{12,21}{\sqrt{2}} = 8,64 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{8,64 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$0,02 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{8,64^2 + 3 \cdot (8,64^2 + 11,10^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$25,85 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Návrh a posouzení čepového ložiska:

Čep - Třída pevnosti 5.8

$$f_{y,p} = 400 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu čepu}$$

$$f_{u,p} = 500 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti čepu}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

Plech - ocel třídy S355

$$f_y = 355 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu čepových plechů}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti čepových plechů}$$

Výsledná síla zatěžující čep:

$$F_{v,ed} = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{274,74^2 + 79,94^2} = 286,13 \text{ kN}$$

Tloušťka čepového plechu:

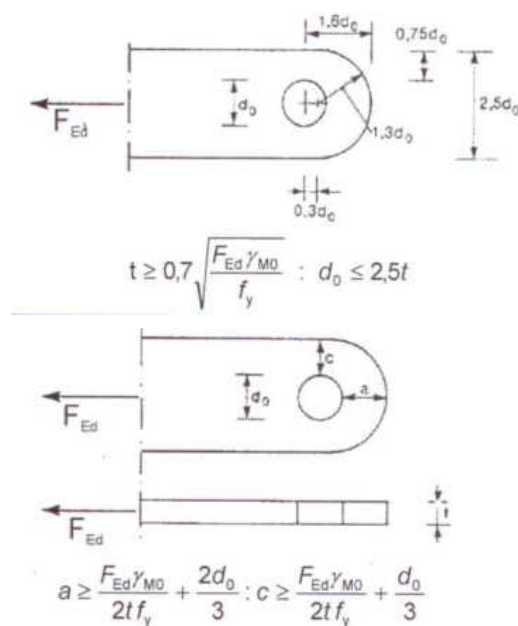
$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{355}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{286,13 \cdot 1,0}{355}} = 19,87 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 20 mm}$$

Návrh geometrie plechu:

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 50 mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{286,13 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 50}{3} = 53,48 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 55 mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{286,13 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355} + \frac{50}{3} = 36,82 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 50 mm}$$



Obr. 67 – Návrh geometrie čepových plechu [23]

Plocha průřezu čepu:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 25^2 = 1963,50 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{500 \cdot 1963,5^2}{1,25} = 480,66 \text{ kN}$$

Posouzení čepu na namáhání střihem:

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{286,13}{480,66} \leq 1$$

$$0,60 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení čepu a plechu v otláčení:

$$F_{b,Rd,čep} = 1,5 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 20 \cdot 50 \cdot \frac{355}{1,0} = 532,5 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd,plech} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 50 \cdot \frac{355}{1,0} = 1065 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd,čep}} \leq 1$$

$$\frac{286,13}{532,50} \leq 1$$

$$0,54 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost čepu v ohybu:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 50^3}{32} = 12271,85 \text{ mm}^3$$

$$t_3 = 2 \text{ mm} \quad \text{-vzdálenost mezi plechy}$$

$$M_{ed} = \frac{F_{v,ed}}{8} \cdot (t_1 + 2 \cdot t_2 + 4 \cdot t_3) = \frac{286,13}{8} \cdot (20 + 2 \cdot 20 + 4 \cdot 2) = 2,43 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 12271,85 \cdot \frac{400}{1,00} = 6,53 \text{ kNm}$$

Posouzení čepu na ohyb a na kombinaci ohybu a stříhu:

$$\frac{M_{ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{2,43}{6,53} \leq 1$$

$$0,37 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left(\frac{M_{ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{ed}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{2,43}{6,53}\right)^2 + \left(\frac{286,13}{480,66}\right)^2 \leq 1$$

$$0,43 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky k čepovému plechu:

$$a = 5 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 240 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = 25 + 55 + 45 = 125 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 240 \cdot 5 = 2400 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{79,94}{2400} = 33,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{79,94 \cdot 125}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 240^2} + \frac{274,74}{2400} = 218,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{218,56}{\sqrt{2}} = 154,55 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{154,55 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$0,38 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{154,55^2 + 3 \cdot (154,55^2 + 33,30^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$314,43 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čepových plechů k patnímu plechu:

$$a = 5 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 240 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = 25 + 55 + 45 = 125 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 240 \cdot 5 = 2400 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Síly zatěžující svar:

Vzhledem k tomu, že se napojují dva plechy na patní plech, síly se rovnoměrně rozloží do čtyř koutových svarů.

$$V_{d,1} = \frac{V_d}{2} = \frac{79,94}{2} = 39,97 \text{ kN}$$

$$N_{d,1} = \frac{N_d}{2} = \frac{274,74}{2} = 137,37 \text{ kN}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{39,97}{2400} = 16,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{39,97 \cdot 125}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 240^2} + \frac{137,37}{2400} = 109,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{109,28}{\sqrt{2}} = 77,27 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{77,27 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$0,19 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{77,27^2 + 3 \cdot (77,27^2 + 16,65^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$157,22 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení kotevních šroubů ŽB patky:

$$d = 24 \text{ mm} \quad \text{-průměr kotevních šroubů}$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha šroubů}$$

$d_0 = 26 \text{ mm}$	-průměr otvorů
$n = 4 \text{ ks}$	-počet kotevních šroubů
$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$	-mez kluzu kotevních šroubů
$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$	-mez pevnosti kotevních šroubů
$\gamma_{M2} = 1,25$	
$k_2 = 0,63$	-zapuštěné šrouby
$e_1 = 100 \text{ mm}$	-vzdálenost od okraje rovnoběžně se zatížením
$p_1 = 300 \text{ mm}$	-vzdálenost mezi šrouby rovnoběžně se zatížením
$e_2 = 85 \text{ mm}$	-vzdálenost od okraje kolmo na zatížení
$p_2 = 230 \text{ mm}$	-vzdálenost mezi šrouby kolmo na zatížení

Příčné zatížení jednoho kotevního šroubu:

$$F_{v,ed,1} = \frac{F_{v,ed}}{n} = \frac{79,94}{4} = 19,99 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho kotevního šroubu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,6 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti kotevních šroubů ve střihu:

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{19,95}{70,60} \leq 1$$

$$0,28 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{100}{3 \cdot 26} = 1,28 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{300}{3 \cdot 26} - 0,25 = 3,60 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{85}{26} - 1,7 = 7,45 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{230}{26} - 1,7 = 10,68 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} = 360 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{19,95}{360,00} \leq 1,0$$

0,05 ≤ 1,0 *Vyhovuje*

Únosnost jednoho kotevního šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M0}} = \frac{0,63 \cdot 500 \cdot 353}{1,00} = 111,20 \text{ kN}$$

Posouzení kotevních šroubů na tah:

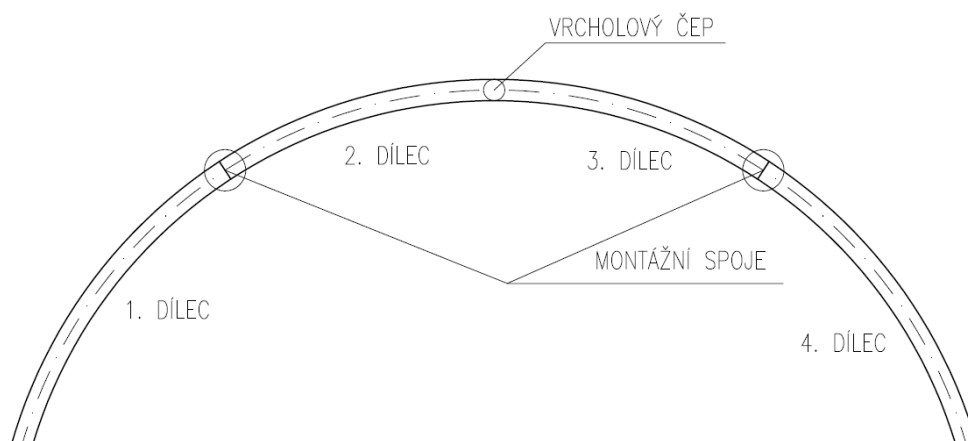
$$\frac{N_{max,ed}}{F_{t,Rd} \cdot n} \leq 1,0$$

$$\frac{89,46}{111,2 \cdot 4} \leq 1,0$$

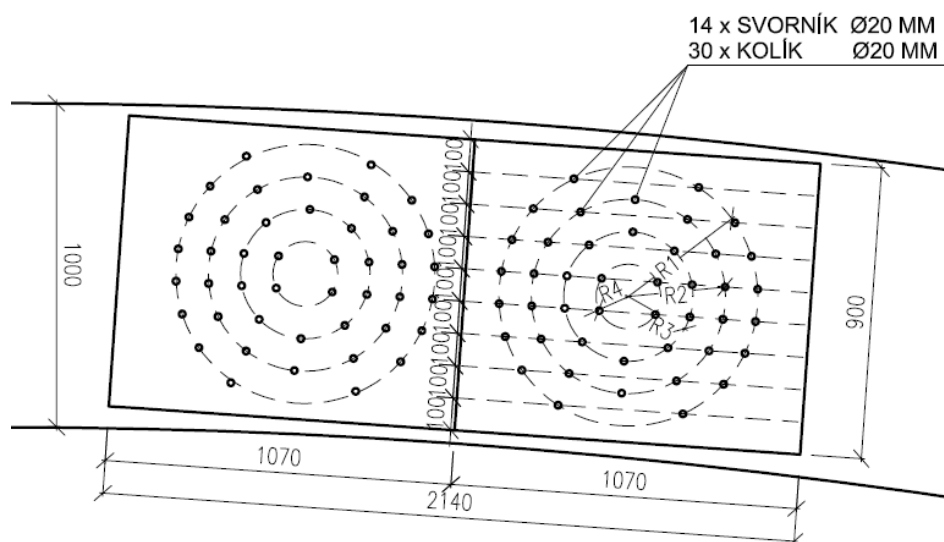
0,20 ≤ 1,0 *Vyhovuje*

5.10.6 Montážní spoje vazníku

Stejně jako u *varianty A*, bylo nutné navrhnout montážní spoje vazníku. Tyto spoje vyplývají z důvodů omezené velikosti dílců pro přepravu na staveniště. Jednotlivé dílce vazníku nepřesahují délku 16 m a je možno je přepravit za normálních podmínek. Spoje byly navrženy tak, aby nezasahovaly svými rozměry do dalších konstrukčních částí, jako je připojení vaznice na vazník a připojení táhel na vazník. Ve vazníku se nacházejí celkem 2 montážní spoje stejného typu. Vrcholový čep je navržen a posouzen v navazující kapitole. Spoje jsou navrženy na nejhorší možné kombinace zatěžovacích stavů. Návrh spoje je proveden pomocí vsazeného plechu, který je připevněn k oběma částem vazníku pomocí svorníků a kolíků třídy pevnosti 5.8, průměru 24 mm.



Obr. 68 – Poloha montážních spojů



Obr. 69 – Schéma montážního spoje

Na jeden spojovaný prvek bude celkem použito 14 svorníků průměru 24 mm a 30 kolíků průměru 24 mm.

$r_1 = 400 \text{ mm}$ -10 kolíků, 6 svorníky – celkem 16 ks

$r_2 = 300 \text{ mm}$ -10 kolíků, 4 svorníky – celkem 14 ks

$r_3 = 200 \text{ mm}$ -6 kolíků, 4 svorníky – celkem 10 ks

$r_4 = 100 \text{ mm}$ -4 kolíky – celkem 4 ks

Návrh a posouzení spojovacích prostředků:

$d = 24 \text{ mm}$ -průměr kolíků a svorníků

$A_s = 353 \text{ mm}^2$ -průřezová plocha kolíků a svorníků

$d_0 = 26 \text{ mm}$ -průměr otvorů pro spojovací prostředky

$n = 44 \text{ ks}$ -počet kolíků a svorníků ve spoji

$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$ -mez kluzu spojovacích prostředků

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$ -mez pevnosti spojovacích prostředků

$\gamma_{M2} = 1,25$

Osové vzdálenosti spojů:

$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = 96 \text{ mm}$ -navrženo 100 mm

$a_2 = 4 \cdot d = 96 \text{ mm}$ -navrženo 100 mm

$a_{3,t} = \max(7d; 80) = 168 \text{ mm}$ -navrženo 170 mm

$a_{4,t} = 3 \cdot d = 72 \text{ mm}$ -navrženo 100 mm

Návrhové vnitřní síly působící ve spoji:

Pro návrh a posouzení spoje jsou uvažovány nejnepříznivější kombinace zatěžovacích stavů pro ohybové, tahové a smykové namáhání v místě spojení. Tlakové namáhání je přeneseno kontaktem jednotlivých dílců.

$M_{ed} = 222,74 \text{ kNm}$

$N_{ed,tah} = 35,17 \text{ kN}$

$V_{ed} = 31,63 \text{ kN}$

Zatížení kolíků a svorníků:

Zatížení od ohybového momentu:

$$F_M = M_{ed} \cdot \frac{r_1}{\sum r_i^2} = 222,74 \cdot \frac{400}{16 \cdot 400^2 + 14 \cdot 300^2 + 10 \cdot 200^2 + 4 \cdot 100^2} = 20,91 \text{ kN}$$

$$F_V = \frac{V_{ed}}{n} = \frac{31,63}{44} = 0,72 \text{ kN}$$

$$F_N = \frac{N_{ed}}{n} = \frac{35,17}{44} = 0,80 \text{ kN}$$

Celkové zatížení jednoho kolíku v místě spoje:

$$F_d = \sqrt{(F_M + F_V)^2 + F_N^2} = \sqrt{(20,91 + 0,72)^2 + 0,80^2} = 20,94 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 410 = 25,55 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,71$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_M + F_V}{F_N}\right) = \arctan\left(\frac{20,91 + 0,72}{0,80}\right) = 87,88^\circ$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,55}{1,71 \cdot \sin^2 87,88^\circ + \cos^2 87,88^\circ} = 14,95 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti svorníku:

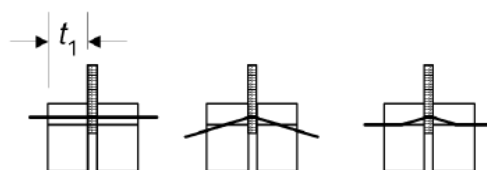
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 24^{2,6} = 581621,5 \text{ N/mm}$$

Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku:

Jedná se o dvojstřížný spoj, kde ocelová deska je jako střední prvek.

Tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = \frac{(b - t_p)}{2} = \frac{(200 - 15)}{2} = 92,5 \text{ mm}$$



Obr. 70 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed [4]

Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} \\ f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \end{pmatrix}$$

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} 14,95 \cdot 92,5 \cdot 24 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 581621,5}{14,95 \cdot 24 \cdot 92,5^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{581621,5 \cdot 14,95 \cdot 24} \\ 14,95 \cdot 92,5 \cdot 24 \end{pmatrix}$$

$$F_{v,rk} = \begin{pmatrix} 21,93 \text{ kN} \\ 33,23 \text{ kN} \\ 33,19 \text{ kN} \end{pmatrix} = 21,93 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho svorníku:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{21,93}{1,30} = 11,81 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti spojovacích prostředků:

$$\frac{F_d}{2 \cdot F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{20,92}{2 \cdot 11,87} \leq 1$$

$$0,88 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti kolíků a svorníků ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,6 \text{ kN}$$

$$\frac{F_d}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{20,92}{70,60} \leq 1$$

$$0,30 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{170}{3 \cdot 26} = 2,18 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{100}{3 \cdot 26} - 0,25 = 1,03 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 = 9,07 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 = 3,68 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} = 359,86 \text{ kN}$$

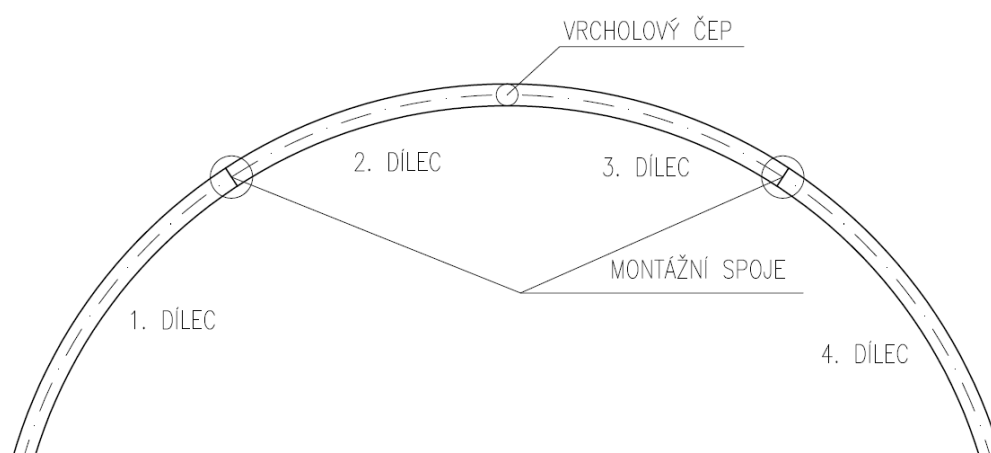
$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{20,92}{359,86} \leq 1,0$$

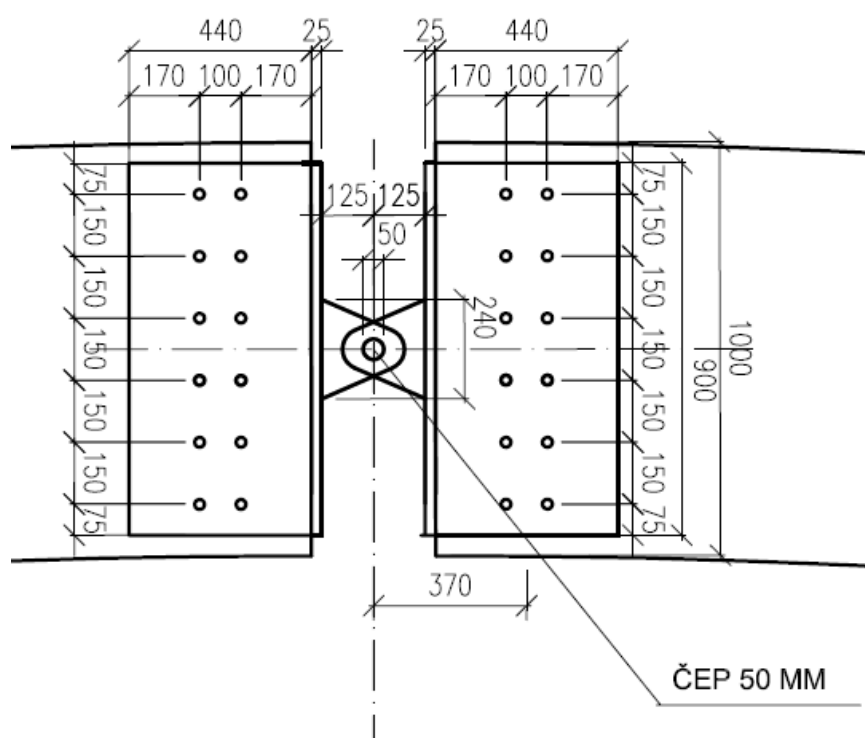
$$0,06 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

5.10.7 Vrcholový kloub

Vrcholový kloub je proveden pomocí ocelového čepu třídy pevnosti S355 a průměru 50 mm. Čepové ložisko je k vazníkům připojeno pomocí vsazených ocelových plechů, které jsou připojeny pomocí 12 svorníků třídy pevnosti 5.8 a průměru 12 mm. Tlaková síla je přenesena pomocí čelních desek jednotlivých dílců vazníku. Čepové plechy jsou připojeny k čelním deskám pomocí koutových svarů.



Obr. 71 – Poloha vrcholového kloubu



Obr. 72 – Schéma vrcholového kloubu

Vnitřní síly působící ve spoji:

Pro návrh a posouzení přípoje jsou uvažovány nejnepříznivější kombinace pro tlakové namáhání a namáhání smykem. Byla taktéž zjištěna nejvyšší hodnota tahové síly. Spoj je posouzen na působení posouvající síly a její excentricity ke středu otáčení skupiny svorníků. Zvlášť je pak posouzen na tahovou sílu.

$$N_{ed,min} = -123,83 \text{ kN}$$

$$N_{ed,max} = 47,39 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = -27,09 \text{ kN}$$

Návrh a posouzení čelní desky a otlačení dřeva od čelní desky:

Rozměry a materiál čelní desky:

$$t_d = 25 \text{ mm} \quad \text{-tloušťka čelní desky}$$

$$h_d = 900 \text{ mm} \quad \text{-výška čelní desky}$$

$$b_d = 200 \text{ mm} \quad \text{-šířka čelní desky}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu čelní desky}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti čelní desky}$$

Plocha otlačení dřeva:

$$A_d = b_d \cdot h_d = 0,2 \cdot 0,9 = 0,18 \text{ m}^2$$

Normálové napětí rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_d} = \frac{123,83}{0,18} = 0,69 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,69}{14,84} \leq 1$$

$$0,05 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Rozměry a materiál vloženého styčnickového plechu:

$t_p = 15 \text{ mm}$	-tloušťka styčnickového plechu
$h_p = 900 \text{ mm}$	-výška styčnickového plechu
$b_p = 440 \text{ mm}$	-šířka styčnickového plechu
$f_y = 355 \text{ MPa}$	-mez kluzu styčnickového plechu
$f_u = 510 \text{ MPa}$	-mez pevnosti styčnickového plechu

Ohybový moment vznikající v čelní desce od normálové síly:

$$t_1 = \frac{(b-t_p)}{2} = \frac{(200-15)}{2} = 92,5 \text{ mm} \quad \text{--polovina šířky vazníku}$$

$$W_{y,p} = \frac{1}{6} \cdot \frac{b_d}{2} \cdot t_d^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{200}{2} \cdot 25^2 = 10416,67 \text{ mm}^3$$

$$M_y = \frac{N_d}{2} \cdot \left(\frac{t_p}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{123,80}{2} \cdot \left(\frac{15}{2} + \frac{92,5}{2} \right) = 3,33 \text{ kNm}$$

Napětí za ohybu v čelní desce:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{3,33 \cdot 10^3}{10,42 \cdot 10^{-6}} = 319,48 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí za ohybu:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{y,d}} \leq 1$$

$$\frac{319,48}{355,00} \leq 1$$

$$0,90 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení svorníkového spoje:

$d = 12 \text{ mm}$	-průměr svorníků
$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$	-průřezová plocha svorníků
$d_0 = 14 \text{ mm}$	-průměr otvorů pro svorníky

$n = 12 ks$ -počet svorníků ve spoji

$f_{yb} = 400 MPa$ -mez kluzu svorníků

$f_{ub} = 500 MPa$ -mez pevnosti svorníků

Osové vzdálenosti svorníků:

$a_1 = (4 + \cos\alpha) \cdot d = 48 mm$ -navrženo 100 mm

$a_2 = 4 \cdot d = 48 mm$ -navrženo 150 mm

$a_{3,t} = \max(7d; 80) = 84 mm$ -navrženo 170 mm

$a_{4,t} = 3 \cdot d = 36 mm$ -navrženo 75 mm

Excentricita vznikající od smykové síly:

$e = 370 mm$

Zatížení na jeden svorník:

$$F_v = \frac{V_{ed}}{n} = \frac{27,09}{12} = 2,26 kN$$

Síla vznikající od excentricity zatížení:

Vzdálenosti jednotlivých poloměrů otáčení svorníků r_i byly vztaženy ke středu styčnickové desky, který odpovídá středu otáčení skupiny svorníků:

$$F_m = \frac{V_d \cdot e \cdot r_3}{4 \cdot r_1^2 + 4 \cdot r_2^2 + 4 \cdot r_3^2} = \frac{27,09 \cdot 0,370 \cdot 0,378}{4 \cdot 0,09^2 + 4 \cdot 0,23^2 + 4 \cdot 0,378^2} = 4,65 kN$$

$$F_{v,ed} = \sqrt{F_v^2 + F_m^2} = \sqrt{2,26^2 + 4,65^2} = 5,17 kN$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – předvrtávané otvory:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 410 = 29,59 MPa$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{29,59}{1,53 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 19,34 MPa$$

Charakteristický plastický moment únosnosti svorníku:

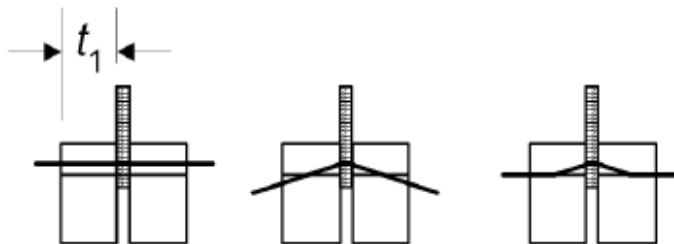
$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{ub} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 12^{2,6} = 95931,78 N/mm$$

Charakteristická únosnost jednoho svorníku:

Jedná se o dvojstřížný spoj, kde ocelová deska působí jako střední prvek.

Tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = \frac{(b - t_p)}{2} = 92,5 \text{ mm}$$



Obr. 73 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed [4]

Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,rk} = \left(\begin{array}{c} f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \frac{\sqrt{M_{y,rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d}}{f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d} \end{array} \right)$$
$$F_{v,rk} = \left(\begin{array}{c} 19,34 \cdot 92,5 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 95931,78}{19,34 \cdot 12 \cdot 92,5^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \frac{\sqrt{95931,78 \cdot 19,34 \cdot 12}}{19,34 \cdot 92,5 \cdot 12} \end{array} \right)$$

$$F_{v,rk} = \left(\begin{array}{c} 10,32 \text{ kN} \\ 10,85 \text{ kN} \\ 21,46 \text{ kN} \end{array} \right) = 10,32 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho svorníku pro jeden stříh:

$$F_{v,rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M2}} = 0,7 \cdot \frac{10,32}{1,30} = 5,55 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti svorníků pro maximální smykové namáhání:

$$\frac{F_{v,ed} \cdot n}{2 \cdot F_{v,Rd} \cdot n_{90^\circ,ef}} \leq 1$$

$$\frac{5,17 \cdot 12}{2 \cdot 5,55 \cdot 12} \leq 1$$

$$0,48 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti svorníků pro maximální tahové namáhání:

Při maximálním tahovém namáhání spoje, vzniká zanedbatelná smyková síla.

Účinný počet svorníků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{0^\circ,ef} = \min \left\{ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 12}} = 1,67 \right\} = 1,67$$

$$n_{0^\circ,ef} = 10,02 \quad \text{—pro 12 svorníků}$$

$$\frac{N_{ed,max}}{2 \cdot F_{v,Rd} \cdot n_{90^\circ,ef}} \leq 1$$

$$\frac{47,39}{2 \cdot 5,55 \cdot 10,02} \leq 1$$

$$0,43 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti svorníků ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} = 16,86 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{4,24}{16,86} \leq 1$$

$$0,25 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{75}{3 \cdot 14} = 1,79 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{150}{3 \cdot 14} - 0,25 = 2,13 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{170}{14} - 1,7 = 32,3 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{14} - 1,7 = 13,3 \end{array} \right\} = 2,5$$

Posouzení styčnickového plechu na otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 12 \cdot 15}{1,25} = 179,93 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{4,32}{179,93} \leq 1,0$$

$$0,02 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky se styčnickovým plechem:

$$a = 4 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 900 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = 25 + 55 + 45 + 25 = 150 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 900 \cdot 4 = 7200 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{27,09}{7200} = 3,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{27,09 \cdot 150}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 900^2} + \frac{123,83}{7200} = 3,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{3,76}{\sqrt{2}} = 2,66 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{2,66 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$0,01 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{2,66^2 + 3 \cdot (2,66^2 + 3,76^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$8,41 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení čepového ložiska:

Čep - Třída pevnosti 5.8

$$f_{y,p} = 400 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu čepu}$$

$$f_{u,p} = 500 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti čepu}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

Plechý – ocel třídy S355

$$f_y = 355 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu čepových plechů}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti čepových plechů}$$

Výsledná síla zatěžující čep:

$$F_{v,ed} = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{123,83^2 + 27,09^2} = 126,76 \text{ kN}$$

Tloušťka čepového plechu:

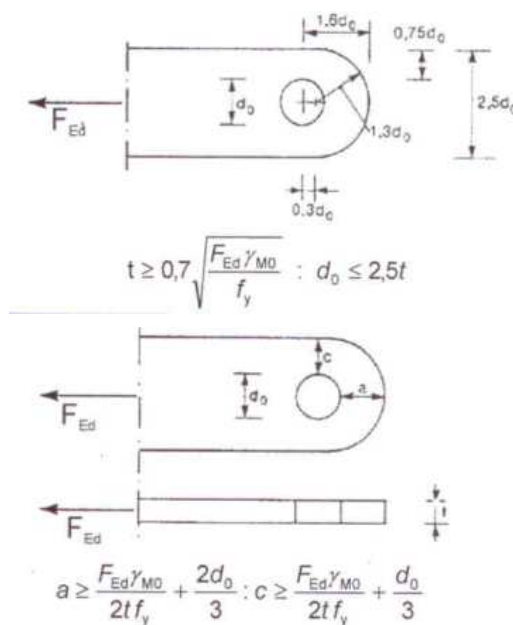
$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{355}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{126,76 \cdot 1,0}{355}} = 13,23 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 20 mm}$$

Návrh geometrie plechu a čepu:

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 50 mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{126,76 \cdot 1,0}{2 \cdot 15 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 50}{3} = 45,24 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 50 mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{126,76 \cdot 1,0}{2 \cdot 15 \cdot 355} + \frac{50}{3} = 28,57 \text{ mm} \quad \text{-navrženo 50 mm}$$



Obr. 74 – Návrh geometrie čepových plechu [23]

Plocha průřezu čepu:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 25^2 = 1963,50 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{500 \cdot 1963,5^2}{1,25} = 480,66 \text{ kN}$$

Posouzení čepu na namáhání střihem:

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{126,76}{480,66} \leq 1$$

$$0,26 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení čepu a plechu v otlačení:

$$F_{b,Rd,\text{čep}} = 1,5 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 20 \cdot 50 \cdot \frac{355}{1,0} = 532,5 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd,\text{plech}} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 50 \cdot \frac{355}{1,0} = 1065,0 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{b,Rd,\text{čep}}} \leq 1$$

$$\frac{126,76}{532,5} \leq 1$$

$$0,24 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost čepu v ohybu:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 50^3}{32} = 12271,85 \text{ mm}^3$$

$$t_3 = 2 \text{ mm} \quad \text{-vzdálenost mezi plechy}$$

$$M_{ed} = \frac{F_{v,ed}}{8} \cdot (t_1 + 2 \cdot t_2 + 4 \cdot t_3) = \frac{126,76}{8} \cdot (20 + 2 \cdot 20 + 4 \cdot 2) = 1,08 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 12271,85 \cdot \frac{400}{1,00} = 6,53 \text{ kNm}$$

Posouzení čepu na ohyb a na kombinaci ohybu a střihu:

$$\frac{M_{ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1,08}{6,53} \leq 1$$

$$0,17 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left(\frac{M_{ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{ed}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{1,08}{6,53}\right)^2 + \left(\frac{126,76}{480,66}\right)^2 \leq 1$$

$$0,10 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky k čepovému plechu:

$$a = 4 \text{ mm} \quad \text{-účinná výška svaru}$$

$$l = 240 \text{ mm} \quad \text{-účinná délka svaru}$$

$$\beta_w = 0,9 \quad \text{-korekční faktor pro ocel třídy S355}$$

Excentricita vznikající mezi posouvající silou a svarem:

$$e = 25 + 55 + 45 = 125 \text{ mm}$$

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 240 \cdot 4 = 1920 \text{ mm}^2 \quad \text{-průřezová plocha svarového obrazce}$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A_w} = \frac{27,09}{2400} = 14,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A_w} = \frac{27,09 \cdot 125}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 240^2} + \frac{123,83}{1920} = 108,59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{108,59}{\sqrt{2}} = 76,78 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1$$

$$\frac{76,78 \cdot 1,25}{510} \leq 1$$

$$0,19 \leq 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{76,78^2 + 3 \cdot (76,78^2 + 14,11)^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$155,50 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.10.8 Uložení sloupku do ŽB patky

Návrh totožný s variantou A. Kapitola 5.9.7.

5.10.9 Připojení sloupku na vazník

Návrh totožný s variantou A. Kapitola 5.9.8.

6. Zhodnocení konstrukčních variant zastřešení

Obě navržené konstrukční varianty mají své výhody a nevýhody z hlediska různých aspektů. Zhodnocení je třeba brát v několika ohledech. A to jak z hlediska ekonomického, tak technického. Ekonomická stránka a bezpečnost celého projektu jsou v dnešní praxi nejdůležitějšími požadavky investora. Na druhou stranu, dobrým technickým řešením se může zabránit vedlejším problémům, které jsou většinou spojeny s konstrukčně levnější variantou.

6.1 Použitý materiál

Hmotnost hlavních nosných obloukových vazníků:

Varianta A: 65,6 kg/m

Varianta B: 82 kg/m

V tomto ohledu je výhodnější varianta s dvojkloubovými oblouky o 20% oproti trojkloubovým obloukům. Toto hledisko je však čistě ekonomické a je třeba se zabývat i ostatními aspekty.

6.2 Deformace

Výsledné deformace od vnějšího zatížení splňují požadavky pro mezní stav použitelnosti pro obě varianty zastřešení.

Maximální vertikální deformace vazníku u_z :

Varianta A: 94,2 mm

Varianta B: 77,0 mm

Maximální horizontální deformace vazníku u_y :

Varianta A: 74,5 mm

Varianta B: 63,1 mm

Z hlediska výsledných deformací vazníků je na tom lépe varianta trojkloubových oblouků, kvůli větším dimenzím průřezů. Deformace jsou ve vertikálním směru o 18% menší než na dvojkloubovém oblouku a o 15% menší v horizontálním směru.

Pokud by však dimenze obou variant byly stejné, zvítězila by v tomto ohledu varianta dvojklobových oblouků.

6.3 Vliv deformačního zatížení

Deformační zatížení způsobuje změnu vnitřních sil na dvojklobové konstrukci, které je mnohdy nežádoucí. Do tohoto typu zatížení řadíme zatížení nerovnoměrným poklesem podpor a změnou teploty. Bylo by zapotřebí dbát na efektivní návrh základových konstrukcí, aby tyto změny byly pokud možno zanedbatelné. Z hlediska tohoto aspektu je výhodnější použít variantu trojklobové konstrukce, kde nedojde k žádné změně vnitřních sil.

6.4 Montážní spoje

Na obou konstrukčních variantách je nutné rozdělit obloukové vazníky na několik částí. Je zapotřebí použít montážní spoje, které se budou provádět až na staveništi, při výstavbě. Tento typ spojení teoreticky působí jako momentový spoj. V reálné situaci však dochází k prokluzům a spoj působí spíše jako polotuhý. Z tohoto hlediska je výrazně lepší použít variantu trojklobové konstrukce. Ta eliminuje montážní spoj v blízkosti vrcholu a nahrazuje ho kloubovým čepovým přípojem. Ocelový čep přenáší pouze osově síly a umožňuje pootočení v rovině vazníku. Jeho reálné působení mnohem více odpovídá teoretickým předpokladům. Výhodou je také to, že se může osadit na jednotlivé dílce již při výrobě. Tím se podstatně sníží pracnost na staveništi.

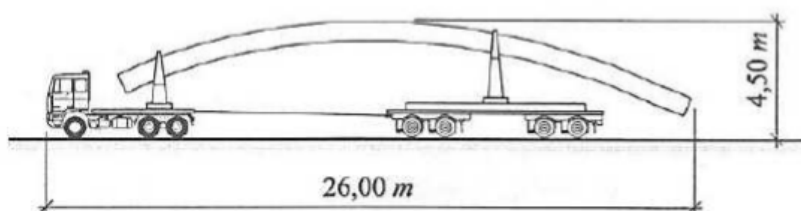
6.5 Shrnutí

Z čistě ekonomického hlediska by bylo vhodné použít konstrukci s dvojklobovým obloukovým nosným systémem z důvodu menších dimenzí průřezu. Avšak trojklobový obloukový nosný systém nabízí řadu výhod z hlediska technického provedení. Tyto aspekty zcela převyšují ekonomické hledisko. Pracnost na staveništi se také sníží a následné používání objektu je bezpečnější.

7. Přeprava, montáž a ochrana nosných prvků

A, Přeprava

Jednotlivé konstrukční prvky budou na stavenišť dovezeny postupně pomocí vozidla s plošinovým přívěsem. Toto vozidlo je schopno převážet konstrukční prvky jakéhokoli druhu až do výšky 3,5 m. Jednotlivé části vazníku a sloupku nepřesahují délku 16 m a nejedná se tedy o přepravu nadrozměrnou. Menší prvky budou převáženy pomocí standardního nákladního vozidla.



Obr. 75 – Tahač s plošinovým přívěsem

B, Montáž

V prvotní fázi výstavby se provede betonáž základových konstrukcí. Následně se zaměří polohy pro osazení patních plechů a kotevních šroubů, které se následně osadí. Pomocí jeřábu se namontuje spodní část vazníku k patnímu plechu pomocí ocelového čepu, na kterou se následně připevní montážním spojem vrchní část. Stejný postup se provede i pro protější část vazníku. Ve vrcholové části se tyto části zajistí ocelovým čepem v případě trojkloubového konstrukčního systému. U dvojkloubového konstrukčního systému se provede opět montážní spoj. Vazníky budou v průběhu výstavby podepírány lešením. Po smontování prvních dvou vazníků se začnou mezi vazby postupně připojovat vaznice a ztužidla. Následně se osazují vaznice vždy po každé další namontované vazbě. Po smontování všech příčných vazeb a ztužidel se zahájí montáž sloupků. Ty se ve spodní části osadí na základové patky do patního plechu a připevní se svorníkem. V horní části se sloupky připevní pomocí vrutů a styčnickových desek na vnější stranu krajního vazníku. Nakonec se na sloupky osadí paždíky.

C, Ochrana konstrukčních prvků

Na všechny dřevěné konstrukční prvky bude proveden ochranný nátěr a impregnace. To bude chránit konstrukci proti degradaci, plísním, dřevokaznému hmyzu a houbám a zajistí delší trvanlivost. Bude také proveden chemický postřik, který zvýší požární odolnost všech prvků. Všechny ocelové konstrukční prvky a spoje budou opatřeny pozinkováním proti korozi.

8. Závěr

Cílem diplomové práce byl statický návrh a posouzení konstrukčního řešení zastřešení sportovní haly z materiálů na bázi dřeva. V úvodní části byly stručně popsány konstrukční systémy halových objektů a jejich použití. Následně byl vypracován návrh dispozičního řešení objektu a jeho umístění do krajiny. Poté byly navrženy dvě konstrukční varianty, které byly nepatrně odlišné. Hlavním nosným prvkem v první variantě byl dvojklobový oblouk. Ve druhé variantě byl do vrcholu oblouku umístěn čepový spoj. Výpočtové prostorové modely obou variant byly řešeny pomocí programu Scia Engineer 2015, kde proběhl výpočet a vyhodnocování vnitřních sil a deformací. Statický návrh a posouzení nosných prvků a spojů zastřešení bylo provedeno pro obě varianty. Všechny posudky nosných prvků a spojů zastřešení vyhověly pro mezní stav únosnosti a použitelnosti. Statické posouzení se provedlo pomocí platných norem ČSN EN. Pro hlavní vazníky a sloupky obou variant bylo použito lepené lamelové dřevo, třídy pevnosti GL28h. Pro vaznice a paždíky bylo použito rostlé dřevo, třídy pevnosti C24, z důvodu menšího namáhání těchto prvků. V závěru práce bylo provedeno zhodnocení obou variant a následné provedení montáže jednotlivých dílců. Součástí diplomové práce je také výkresová dokumentace obsahující půdorysné dispozice, konstrukční systémy a vybrané detaily obou variant.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3 Obecná zatížení - Zatížení sněhem
- [3] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4 Obecná zatížení - Zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] ČSN EN 1995-1-1 ZMĚNA A1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] ROTTER, Tomáš (ed.). Ocelové a dřevěné konstrukce: řešené příklady. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009, 157 s. ISBN 978-80-01-04398-1.
- [8] Příručka 1 - dřevěné konstrukce [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf
- [9] Příručka 2 - navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5 [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf
- [10] *Halové objekty a zastřešení na velká rozpětí* [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.profesis.cz/files/dokumpdf/tp1-11-1-kap4pdf.pdf>
- [11] *Konstrukční systémy halových staveb* [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: http://15123.fa.cvut.cz/?download=_predmet.ps2/prednaska_haly.pdf
- [12] Dřevěné konstrukce TESKO [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.konstrukce-tesko.cz/drevene-konstrukce-tesko>
- [13] Halové konstrukce Haas Fertigbau [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.haas-fertigbau.cz/halove-stavby/>
- [14] Národní stadion ve Varšavě - wikipedie [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1rodn%C3%AD_stadion_%28Var%C5%A1ava%29
- [15] Tenisový areál Brno [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.tenis-komarov.cz/areal/>
- [16] Stadion Mosese Mabhidý v JAR [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: http://bydleni.idnes.cz/foto.aspx?r=architektura&c=A100627_193730_architektura_rez&foto=REZ341791_3198519967_20075308e3_o.jpg
- [17] Prostorová tuhost dřevěných objektů – přednáška 9 [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://15122.fa.cvut.cz/?page=cz,nosne-konstrukce-iii-kovove-a-drevene-konstrukce>
- [18] Panel Kingspan KS1000 TOP-DEK [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://panely.kingspan.cz/stresni-PUR-panely-KS1000-SM-zatepleni-budov-zatepleni-staveb-1805.html>

- [19] Mapy sněhových oblastí [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.snihnastrese.cz/mapa-snehovych-oblasti/> a <http://snehovamapa.cz>
- [20] Mapa větrných oblastí [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/docu/clanky/0075/007505o1.gif>
- [21] Systém konstrukčních táhel Macalloy [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: http://www.tension.cz/www/media/files/pdf-k-pripojeni_12/macalloy-system-konstrukcnich-tahel_57.pdf
- [22] Katalog spojovacích prostředků BOVA [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: http://www.bova-nail.cz/upl/ke_stazeni/100001s_Katalog_20BOVA.pdf
- [23] Navrhování čepových spojů [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/pomucky/Navrhovani-cepovych-spoju.pdf>

Seznam obrázků

- Obr. 1 – Stat. schémata rovinných konstrukcí
Obr. 2 – Stat. Schémata prostorových konstrukcí
Obr. 3 – Ohýbaný konstrukční systém – prostý nosník
Obr. 4 – Zastřešení multifunkčního centra v Hlinsku – nosníková konstrukce
Obr. 5 – Tenisová hala Velichovky – rámová konstrukce
Obr. 6 – Tlakové působení konstrukce
Obr. 7 – Porovnání vhodných rozpětí ohýbané a tlačené konstrukce
Obr. 8 – Tenisová hala Plzeň
Obr. 9 – Druhy tažených konstrukčních systémů
Obr. 10 – Varianty konstrukčního řešení opěr
Obr. 11 – Národní stadion ve Varšavě
Obr. 12 – Tenisový areál Brno
Obr. 13 – Zavěšená konstrukce stadionu Mosese Mabhidya v JAR
Obr. 14 – Schéma zavětrování halové obloukové konstrukce
Obr. 15 – Tělocvična v Praze – Ruzyni (příčné střešní ztužidla)
Obr. 16 – Umístění stavby – mapy.cz
Obr. 17 – Schéma příčného řezu haly
Obr. 18 – Půdorysné schéma haly
Obr. 19 – Příčný řez střešním panelem
Obr. 20 – Rozměry a hmotnost střešních panelů
Obr. 21 – Mapy sněhových oblastí (norma a web)
Obr. 22 – Mapa větrných oblastí
Obr. 23 – Varianty hlavních nosných prvků
Obr. 24 – Výpočtové prostorové modely obou variant
Obr. 25 – Tvarový součinitel μ_3
Obr. 26 – Zohlednění tvaru střechy pro výpočet zatížení sněhem
Obr. 27 – Rozdělení délek oblouku pro zatížení sněhem - konkrétní zastřešení
Obr. 28 – Zatěžovací stavy ZS3, ZS4 – sníh nenavátý a navátý vpravo
Obr. 29 – Zatěžovací oblasti střechy – příčný vítr
Obr. 30 – Zatěžovací oblasti štítových stěn – příčný vítr
Obr. 31 – Zatěžovací oblasti střechy – podélný vítr
Obr. 32 – Zatěžovací oblasti štítových stěn – podélný vítr
Obr. 33 – Ilustrace zadávání zatížení větrem na jednotlivé vaznice
Obr. 34 – Ilustrace zadávání zatížení větrem na paždíky štítové stěny
Obr. 35 – Ohybové momenty M_y – obálka kombinací pro MSÚ
Obr. 36 – Normálové síly N – obálka kombinací pro MSÚ
Obr. 37 – Ohybové momenty M_y – obálka kombinací pro MSÚ
Obr. 38 – Normálové síly N – obálka kombinací pro MSÚ
Obr. 39 – Ilustrace deformačního zatížení
Obr. 40 – Ohybový moment M_y – obálka kombinací MSÚ + pokles podpor
Obr. 41 – Ohybový moment M_y – obálka kombinací MSÚ + pokles podpor
Obr. 42 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $M_{z,přísl.}$, $N_{přísl.}$, $V_{y,přísl.}$, $V_{z,přísl.}$
Obr. 43 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $M_{z,přísl.}$, $N_{přísl.}$, $V_{z,přísl.}$
Obr. 44 – Ohybový moment M_y ve vrcholové části vazníku – obálka kombinací MSÚ
Obr. 45 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $M_{z,přísl.}$, $N_{přísl.}$, $V_{y,přísl.}$, $V_{z,přísl.}$
Obr. 46 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $N_{přísl.}$, $V_{z,přísl.}$
Obr. 47 – Vnitřní síly – $M_{y,max}$, $N_{přísl.}$, $V_{z,přísl.}$

Obr. 48 – Ohybový moment M_y ve vrcholové části vazníku – obálka kombinací MSÚ
Obr. 49 – Návrhová tahová normálová síla v táhlu
Obr. 50 – Schéma připojení táhel na vazník
Obr. 51 – Schéma připojení vaznice na vazník
Obr. 52 – Dvojstřížný spoj s vnějšími ocelovými deskami
Obr. 53 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed
Obr. 54 – Spojovací úhelník BOVA 05-01
Obr. 55 – Ilustrace připojení paždíku na sloupek [BOVA]
Obr. 56 – Schéma připojení vazníku na ŽB patku
Obr. 57 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed
Obr. 58 – Návrh geometrie čepového plechu
Obr. 59 – Poloha montážních spojů
Obr. 60 – Schéma montážního spoje
Obr. 61 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed
Obr. 62 – Schéma připojení sloupku na ŽB patku
Obr. 63 – Dvojstřížný spoj s vnějšími ocelovými deskami
Obr. 64 – Schéma připojení sloupku na vazník
Obr. 65 – Schéma připojení vazníku varianty B na ŽB patku
Obr. 66 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed
Obr. 67 – Návrh geometrie čepových plechu
Obr. 68 – Poloha montážních spojů
Obr. 69 – Schéma montážního spoje
Obr. 70 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed
Obr. 71 – Poloha vrcholového kloubu
Obr. 72 – Schéma vrcholového kloubu
Obr. 73 – Dvojstřížný spoj s ocelovou deskou uprostřed
Obr. 74 – Návrh geometrie čepových plechu

Seznam tabulek

Tab. 1 – Hodnoty tlaků a sání větru pro různé sklony střechy pro $c_{pi} = 0,2$

Tab. 2 – Hodnoty tlaků a sání větru pro různé sklony střechy pro $c_{pi} = -0,3$

Tab. 3 - Únosnosti táhel společnosti Macalloy

Seznam příloh

Výkresová dokumentace:

Půdorys dispozice – Varianta A

Půdorys dispozice – Varianta B

Konstrukční systém – Varianta A

Konstrukční systém – Varianta B

Řez a pohled – Varianta A

Řez a pohled – Varianta B

Detail A1 – připojení vazníku „varianty A“ na ŽB patku

Detail A2 – připojení vazníku „varianty B“ na ŽB patku

Detail B – připojení vaznice na vazník

Detail C1, C2 – montážní spoje obou variant

Detail D – připojení sloupku na ŽB patku

Detail E – připojení sloupku na vazník

Detail F – vrcholový čep

Detail G – připojení táhel na vazník